

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Návrh a výroba vstřikovací formy

Design and Manufacture of Injection Mold

Student : Bc. Michal Biler
Vedoucí diplomové práce : Dr. Ing. Jaroslav Melecký

Ostrava 2014

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Michal Biler**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství
Specializace: 20 Výrobní stroje a zařízení
Téma: **Návrh a výroba vstřikovací formy**
Design and Manufacture of Injection Mold

Zásady pro vypracování:

Navrhnete kompletní konstrukční řešení vstřikovací formy pro výrobu zadaného dílu, který se vyrábí pro elektrotechnický průmysl a slouží k zakrytí elektroinstalace.

Řešení bude obsahovat:

- úkosování a konstrukční úpravy dílu dle CAD-MOULD a FEM analýz
- dělení výrobku (CORE/CAVITY CATIA)
- zaformování výrobku a kompletní konstrukce formy (MOLD-TOOLING DESIGN CATIA)
- CAD-MOULD analýza chlazení/vstřikování
- barvení modelu (3D BEZVÝKRESOVÁ DOKUMENTACE)
- konstrukční návrh elektrod (CENIT CATIA)
- návrh postupu výroby tvarových částí
- kontrola rozměrů, měrové protokoly elektrod a tvarů (WENZEL-3D)
- kompletní 2D výkresová dokumentace

Celá konstrukce formy bude provedena v softwaru CATIA a v jejích nástavbových modulech.

Bližší specifikaci nutných technických údajů a požadavků provede v průběhu řešení bakalářské práce firma Linaset, a.s.

Seznam doporučené odborné literatury:

- LEINVEBER, J., VÁVRA, P. *Strojnické tabulky* (4. přepracované vydání). Úvaly, 2008, ALBRA – pedagogické nakladatelství. 914 s. ISBN 978-80-7361-051-7.
- ČÁSENSKÝ, M. *Metodika konstruování*. 1. vyd. Praha, Ediční středisko ČVUT Praha, 1990. 122 s.
- ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha, Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.
- ČSN ISO 690 *Bibliografické citace*. Obsah, forma a struktura. Praha, Český normalizační institut, 1996. 32 s.
- SERENSEN, S. V., KOGAJEV, V. P., ŠNEJDEROVIČ, R.M. *Únosnost a pevnostní výpočty strojních součástí*. Praha, SNTL, 1967.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Dr.Ing. Jaroslav Melecký**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014

doc. Dr.Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě.....19.5.2014.....

Podpis.....Biler.....

Poděkování:

Firmě Linaset, a.s. za poskytnutí pracovního zázemí a zejména vedoucímu oddělení CAD/CAM, p. Petru Czakanovi za odbornou pomoc při tvorbě diplomové práce.

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb., autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 - školní dílo.
- беру на ве́доміі, же Высoкá škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, же odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě.....19.5.2014

Podpis.....Biler

Bc. Michal Biler

Domoradovice 76

747 41 Hradec nad Moravicí

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

BILER, M. *Návrh a výroba vstřikovací formy : diplomová práce*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2014, 77 s. Vedoucí práce: Melecký, J.

Diplomová práce se zabývá konstrukcí plastové součásti a vstřikovacího nástroje podle současných standardů. V úvodu diplomové práce je shrnuta problematika vstřikování plastů, konstrukční požadavky na výstřiky a vstřikovací formy. Na základě analýz vstřikování a pevnostních výpočtů je zadaný plastový díl upraven a následně vhodně zaformován do vstřikovacího nástroje. Dále je řešena příslušná vstřikovací forma se všemi náležitostmi pro využití v praxi a navrhnut základní technologický postup výroby tvarové dutiny. Práce obsahuje příslušné 3D data a 2D výkresovou dokumentaci.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

BILER, M. *Design and Manufacture of Injection Mold : Master Thesis*. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machine and Design, 2014, 77 p. Thesis head: Melecký, J.

This diploma thesis deals with a design of plastic parts and injection mold according to current standards. At the beginning of the thesis are summarized issues of injection molding, design requirements for the molding parts and injection molds. Based on the analysis of injection and finite element method calculations the specific plastic part is modified and then suitably adapted to the injection mold tool. Below this thesis the injection mold with all requirements for practical use is solved and designed the basic technological process of production of the mold cavity. Thesis includes appropriate 3D data and 2D drawings.

OBSAH

1	ÚVOD.....	1
2	TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ	3
2.1	MATERIÁLY PRO VSTŘIKOVÁNÍ	3
2.2	VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	6
2.3	VSTŘIKOVACÍ STROJE.....	7
2.4	VSTŘIKOVACÍ FORMY	9
2.4.1	ZÁKLADNÍ METODICKÝ POSTUP NÁVRHU VSTŘIKOVACÍ FORMY	11
2.4.2	VTOKOVÉ SYSTÉMY	12
2.4.3	VYHAZOVACÍ SYSTÉM	18
2.4.4	TEMPERAČNÍ SYSTÉM	21
2.4.5	ODVZDUŠŇOVÁNÍ TVAROVÝCH DUTIN	23
3	KONSTRUKCE VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ	24
3.1	ZAFORMOVATELNOST.....	24
3.2	TLOUŠŤKA STĚN	25
3.3	KONSTRUKCE ŽEBER.....	26
3.4	DEFORMACE VÝSTŘIKU A LUNKRY	27
3.5	KVALITA A POVRCH VÝSTŘIKŮ	29
3.6	VADY VÝSTŘIKŮ	30
4	VÝROBA FOREM.....	30
5	KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ PLASTOVÉ SOUČÁSTI.....	33
5.1	ANALÝZY VSTŘIKOVÁNÍ	34
5.2	FUNKČNÍ KONSTRUKČNÍ ÚPRAVY.....	35
5.3	KONSTRUKČNÍ ÚPRAVY DLE ANALÝZ	39
6	KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ VSTŘIKOVACÍ FORMY	40

6.1	ZAFORMOVÁNÍ	40
6.2	VTOKOVÁ SOUSTAVA	42
6.3	TVAROVÉ DUTINY	44
6.4	PEVNÉ TVAROVÉ VLOŽKY	45
6.5	POHYBLIVÉ TVAROVÉ ČELISTI	45
6.6	MECHANICKÝ VYHAZOVACÍ SYSTÉM	46
6.7	TEMPERAČNÍ SYSTÉM	48
6.7.1	KONTROLNÍ SIMULACE CHLAZENÍ A VSTŘIKOVÁNÍ	50
6.8	ODVZDUŠNĚNÍ	51
6.9	VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE	55
6.10	KONSTRUKČNÍ PRVKY FORMY	56
6.10.1	DESKY VSTŘIKOVACÍ FORMY	56
6.10.2	POKA JOKE	57
6.10.3	ELEKTROINSTALACE DS	57
6.10.4	ELEKTROINSTALACE AS	58
6.10.5	NOSNÉ PRVKY FORMY	59
6.10.6	ŠTÍTKY A VNĚJŠÍ POPISY	59
6.10.7	VEDENÍ A STŘEDĚNÍ FORMY	60
6.11	ZÁSADY KONSTRUKCE	61
6.12	KONTROLNÍ VÝPOČTY	62
6.12.1	KONTROLA VYHAZOVAČŮ NA VZPĚR	62
6.12.2	KONTROLA DESKY TVÁRNÍKU NA PRŮHYB	64
6.12.3	KONTROLA NA OTLAČENÍ	65
7	TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY TVÁRNÍKU	66
7.1	KONSTRUKCE EDM-ELEKTROD	67
8	KONTROLA ROZMĚRŮ	68
9	ZÁVĚR	70
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	71

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ

$\sigma_{\text{red MAX}}$	Maximální redukované napětí dle hypotézy HMMH	[N.mm ⁻²]
y_{MAX}	Maximální deformace	[mm]
Re	Mez kluzu v tahu	[N.mm ⁻²]
f_D	Dovolený průhyb	[mm]
f	Požadovaný minimální průhyb záskočky	[mm]
ε	Poměrné prodloužení	[%]
l_{zas}	Volná délka záskočky	[mm]
h	Tloušťka stěny záskočky	[mm]
F_{MIN}	Minimální síla pro překročení meze kluzu	[N]
P	Výkon elektrického topení trysky	[W]
Δl	Délková změna horké trysky	[mm]
α	Součinitel délkové roztažnosti	[K ⁻¹]
l_0	Délka zabudování horké trysky	[mm]
t_1	Maximální teplota horké trysky	[°C]
t_2	Minimální teplota pevné poloviny formy	[°C]
R	Rádus vyhazovače	[mm]
G_1	Hmotnost vzduchu na začátku plnění dutiny formy	[kg]
V_0	Objem tvarové dutiny formy	[m ³]
γ	Měrná hmotnost vzduchu	[kg.m ⁻³]
T_1	Konečná teplota vzduchu ve formě	[K]
T_0	Teplota vzduchu na začátku plnění	[K]
p_1	Tlak vzduchu na konci plnění	[N.mm ⁻²]
p_0	Tlak vzduchu na začátku plnění	[N.mm ⁻²]
n	Exponent polytropy	[-]
S_s	Průřezová plocha odvodušňovacích kanálků	[m ²]
τ	Čas plnění tvarové dutiny	[s]
F_p	Síla působící na vyhazovač ze vstřikovacího tlaku	[N]
p_{max}	Maximální vstřikovací tlak	[N.mm ⁻²]
S_v	Plocha vyhazovače ve tvarové dutině	[mm ²]
F_{krit}	Kritická síla způsobující průhyb	[N]
E	Modul pružnosti oceli v tahu	[N.mm ⁻²]
J	Kvadratický moment průřezu	[mm ⁴]
l	Délka vyložení vyhazovače	[mm]
D	Průměr vyhazovače	[mm]
k	Bezpečnost průhybu vyhazovače	[-]

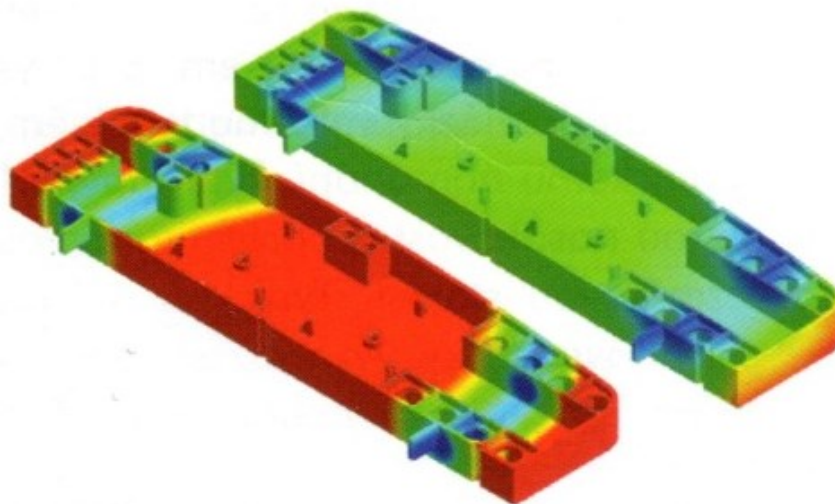
$\sigma_{o \max}$	Maximální ohybové napětí	[N.mm ⁻²]
b	Šířka desky tvárníku bez podpor	[mm]
t	Minimální šířka desky tvárníku	[mm]
f_p	velikost průhybu desky tvárníku	[mm]
σ_o	Napětí v otlacení	[N.mm ⁻²]
$F_{u \max}$	maximální uzavírací síla lisu	[N]
S	Minimální kalená a nekalená plocha	[m ²]
Ra	Střední aritmetická úchylka drsnosti povrchu	[μm]
CAD	Computer Aided Design	
CAM	Computer Aided Manufacturing	
HMH	Huber Mises Hencky	
EDM	Electric Discharge Machinig	
WEDM	Wire Electric Discharge Machinig	
DFMEA	Design Failure Mode and Effects Analysis	
AS	Ausstosserseite (Pohyblivá strana formy)	
DS	Düsenseite (Pevná strana formy)	
SW	Software	
Výstřik	Součást vyráběná technologií vstřikování	
Čelist	Mechanická součást pohyblivé dělicí roviny	
3D měrové centrum	3-osé měření tvaru s dotykovou hlavou	
CADMOULD	Software pro analýzy a vstřikování plastů	
Mold Flow	Počítačová simulace tečení	
MKP	Metoda konečných prvků	
Rapid Prototyping	Technologie výroby prototypů pomocí 3D tisku	
POKA-JOKE	Systém pro minimalizaci chyb	

1 ÚVOD

S využitím plastů v běžné průmyslové praxi se setkáváme stále častěji a s nimi přicházejí nezadržitelně i nové technologie, které ovlivňují jak proces návrhu, tak výroby. Proto jsem si jako téma své diplomové práce vybral návrh plastového dílu a vstřikovací formy, která je finančně a výrobně nejnáročnější v celém cyklu vývoje výrobku. Jako zázemí jsem si vybral nástrojárnu a lisovnu Linaset, a.s. s mnoholetou praxí v oboru.

Nahrazování kovových dílů za plastové znamená v dnešní době úsporu energií a snížení emisí. Při výrobě kovů a plastů jsou totiž výrazné rozdíly ve zpracovatelské teplotě. Například úspora hmotnosti automobilu, vede ke snížení spotřeby. Při úspoře 100[Kg] lze snížit spotřebu až o 0,4[l] na 100[Km]. Důkazem, že potenciál plastových komponentů roste je, že v devadesátých letech minulého století bylo zastoupení plastových komponentů ve středně velkém automobilu 6[%] oproti dnešním 15[%]. Toto číslo bude vzhledem k současným trendům dále stoupat. [1]

Proces vstřikování zastává pozici nejrozšířenější technologie při zpracování plastových dílů. Toto odvětví průmyslu se stále rozvíjí se značnou dynamikou a velký důraz je dnes kladen na úsporu elektrické energie. Přesnost predikce budoucí kvality samotného výrobku je dnes v rukou stále dokonalejších výpočetních technik v simulačních programech procesu vstřikování. Tyto nástroje usnadňují práci jak konstruktéra dílu, tak formy. [1]

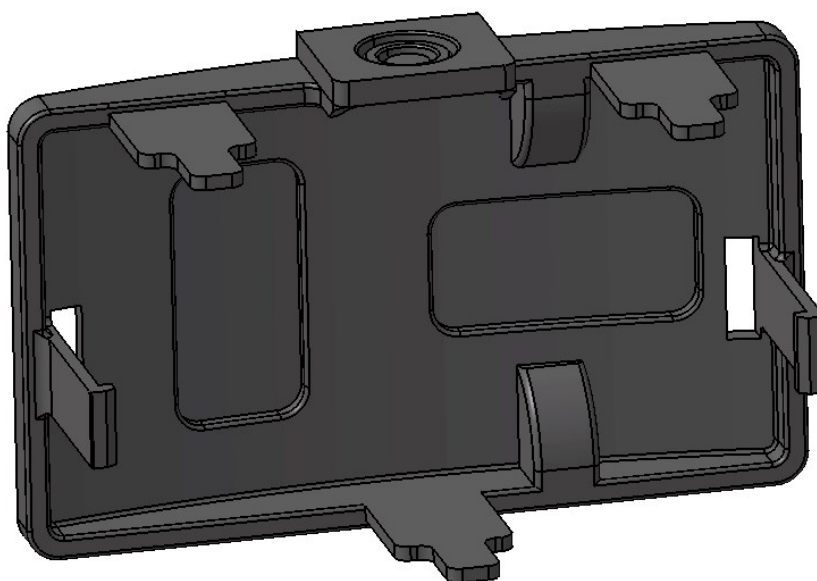


Obr. 1. – Optimalizace vstřikovacího procesu [1]

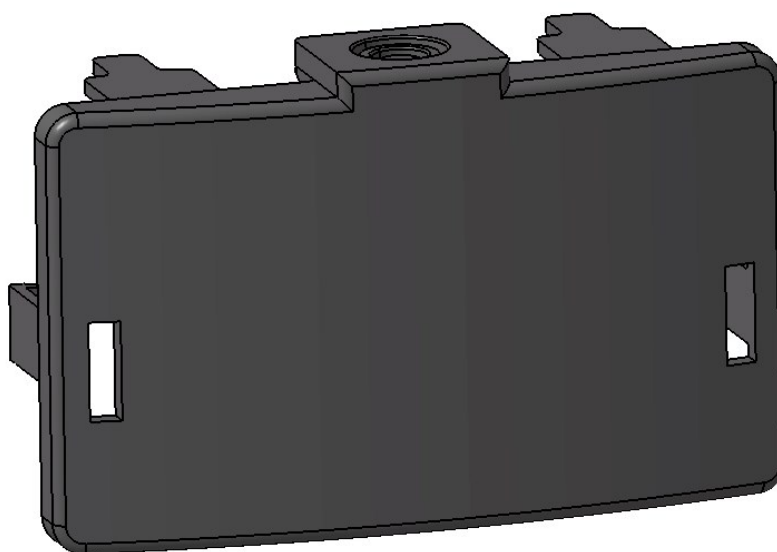
Cílem diplomové práce je navrhnout požadované konstrukční úpravy na zadaném dílu, který se vyrábí pro elektrotechnický průmysl a slouží k zakrytí elektroinstalace. (Obr. 2.) Součástí konstrukčních úprav budou pevnostní výpočty MKP a CAD-MOULD. Po těchto úpravách bude následovat kompletní návrh vstřikovací formy a postup výroby tvarové částí. Kontrola vyrobených tvarů a elektrod, proběhne na 3D měrových centrech.

Základní parametry:

- Garantovaný počet zdvihů formy: 500 000
- Vstřikovaný materiál: PC, MAKROLON 2407 (transparentní)



Obr. 2. – Zadaný plastový díl (zadní strana)



Obr. 3. - Zadaný plastový díl (přední strana)

2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ

Vstřikování je složitý tepelně-mechanický proces tváření, kde je dávka zpracovávaného materiálu z pomocné tlakové komory vstříknuta velkou rychlostí do uzavřené dutiny kovové formy a zde ztuhne ve finální výrobek. Tlaková komora je součástí vstřikovacího stroje a zásoba vstřikovaného materiálu se v ní stále doplňuje během cyklu. Vstřikováním se vyrábějí plastové výrobky, které mají charakter konečného výrobku, nebo polotovary a také díly pro další zkompletování samostatného celku. Výrobky zpracované touto technologií mají velmi dobrou rozměrovou i tvarovou přesnost. Pomocí dobře vyladěného vstřikovacího cyklu a kvalitního nástroje je technologie schopna vysoké reprodukovatelnosti mechanických a fyzikálních vlastností výrobků. Vstřikování je nejrozšířenější technologií na zpracování plastů, jedná se o proces diskontinuální, cyklický. Hlavní nevýhodou v porovnání s ostatními metodami zpracování plastů jsou vysoké investiční náklady, dlouhé doby nutné pro výrobu forem a potřeba používat strojní zařízení, které je neúměrně velké v porovnání s vyráběným dílem. [5]

2.1 MATERIÁLY PRO VSTŘIKOVÁNÍ

Plasty jsou významnými konstrukčními materiály a jejich prudký rozvoj je způsoben dobrými technickými vlastnostmi. Jsou to materiály, jejichž podstatu tvoří makromolekulární látky, které se stávají působením tepla plastickými a za tohoto stavu se dají výhodně tvářet. Připravují se buď úpravou přírodních látek, nebo synteticky. [8]

Na plasticitu a tahové vlastnosti plastických hmot má zásadní vliv teplota. Změnou teploty se mění mezimolekulární přitažlivé síly a tím se mění soudržnost hmoty. Zeslabením těchto sil za postupného zvyšování teploty vede k viskóznímu toku materiálu, který se projevuje zvyšováním plasticity. A naopak zesilováním mezimolekulární soudržnosti má za následek postupné ztuhnutí hmoty. Převážná většina plastických hmot nemá ostrý bod tání, jak je to běžné u většiny nízkomolekulárních látek. Při zvyšování teploty se tuhá látka jen pomalu mění na polotuhý stav, dále se stává velmi tvárnou plastickou látkou a teprve po dalším zvyšování teploty přechází postupně v taveninu. Proto je možné tvářet plastické hmoty v širokém rozmezí teplot. Některé však nelze přivést do zcela plastického stavu, jelikož za vyšších teplot nastává prudká degradace materiálu. Tento proces je již nevratný a nelze následně hmotu zpracovávat. [8]

Plasty lze rozdělit na dva základní druhy:

Termoplasty:

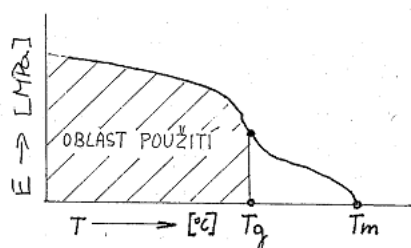
Tyto plasty mají přímé/lineární polymery nebo řetězce s bočními větvemi (rozvětvené polymery). Ohřevem termoplastů se uvolní soudržnost řetězců a hmota je viskózní. Ve viskózním stavu hmotu tváříme a ochlazením se vrátí do původního pevného stavu. Tento proces lze opakovat. [3]

Reaktoplasty:

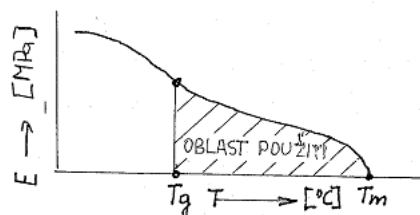
Plasty, které mají v konečné fázi zpracování řetězce příčně propojeny chemickými vazbami a vytváří prostorovou trojrozměrnou síť. Za působení vyšších teplot síť zvyšuje svou pohyblivost, ale zcela se neuvolní. Při tváření vlivem tlaku a teploty dojde k zesíťování neboli vytvrzení plastu. Mezi reaktoplasty patří také elasomery. Jejich výchozí materiál je poddajný a pružný a při vulkanizaci dojde k zesíťování. Jakmile u reaktoplastů dojde k zesíťování tak jejich další tváření již není možné. [3]

V práci se zaměřím pouze na termoplasty, které jsou zároveň nejčastěji využívány pro proces vstřikování. Z hlediska vnitřní struktury se dělí na: [3]

- Amorfní, které mají nepravidelně prostorově uspořádaný řetězec. Využitelnost výrobků je v oblasti pod teplotou skelného přechodu (T_g). V tomto stavu je polymer pevný a zvyšováním teploty nad T_g postupně slábnou kohezní vazby.
- Semikrystalické, které mají pravidelně a těsně uspořádaný řetězec (krystalické útvary). Tyto plasty jsou pevněji vázány v krystalické fázi a použití je v oblasti nad teplotou T_g , protože mají výhodnou kombinaci houževnatosti a pevnosti nad touto teplotou.



Amorfní plasty	T_g [°C]
PS	90-100
hPS	90
ABS	105-115
SAN	115
tr. PVC	85
PMMA	100
mod. PPO	120-140
PC	144
PSU	187
PESU	225
mod. PC (APEC)	205
PI	300



Semikrystalické plasty	T_g [°C]
PE	-80
PP	-20
hom. FE	-50
PT PE	-60
kopol. POM	-113
EVA	-80
PBT	+60
PA 6	+45

Obr. 4. - Oblasti využití amorfních a semikrystalických plastů [3]

Přísady polymerů:

Základní vyrobený polymer nelze obvykle zpracovávat a aplikovat na výstřiky. Pro zpracovávání polymeru technologií vstřikováním je nutné upravit jeho vlastnosti, přísadami - aditivy. [2]

- Pro zvýšení stability taveniny po dobu jejího setrvání v plastikačním válci nebo horkém rozvodu formy (tepelné a termooxidační stabilizátory).
- Pro zlepšení tokových vlastností taveniny, nelepivost a snadné vyjímání z tvarové dutiny (vnitřní maziva aplikovaná při výrobě).
- Pro dosažení jemné a rovnoměrné krystalické struktury (nukleační činidla).

Další základní vlastnosti polymerů, měníme aditivy pro specifické mechanické a ostatní chemické vlastnosti: [3]

- Vlákniťá plniva vyztužují hmotu a zvětšují pevnost.
- Prášková plniva při vyšší koncentraci tyto hodnoty zmenšují, kromě plniv aktivních (saze v kaučuku).
- Změkčovadla pro získání měkkosti a ohebnosti.
- Barviva dle požadovaného odstínu.
- Stabilizátory pro zlepšení určitých vlastností: stárnutí, odolnost proti UV záření, retardéry hoření, antistatika (snížení el. náboje při tření).
- Nadouvadla – lehčená struktura plastu.

Polykarbonát (PC)

Tento plast figuruje v zadání diplomové práce, a proto jeho vlastnosti blíže popíšu. *Je amorfní transparentní plast s vynikající rázovou a vrubovou houževnatostí, pevností a tuhostí. Používá se především při výrobě ochranných krytů a nosných těles. Tepelná odolnost tohoto termoplastu je až 135 [°C] a křehne při 140 [°C]. Má velmi nízkou nasákavost a výborné dielektrické vlastnosti. Neodolává chemickým zásadám a některým technickým rozpouštědlům. Rovněž dlouhodobé působení vody nad 60[°C] vyvolává destrukci. Dobře se leští, lepí i potiskuje. V průběhu času dochází k barevným změnám (žloutnutí). Vyšší viskozita taveniny způsobuje obtížnější vstřikování. Má sklon k vnitřnímu pnutí. Je vhodný pro přesné výstřiky. Materiál naplněný skleněnými vlákny má ještě vyšší houževnatost než čistý PC, takže může téměř nahradit kovový materiál.* [6]

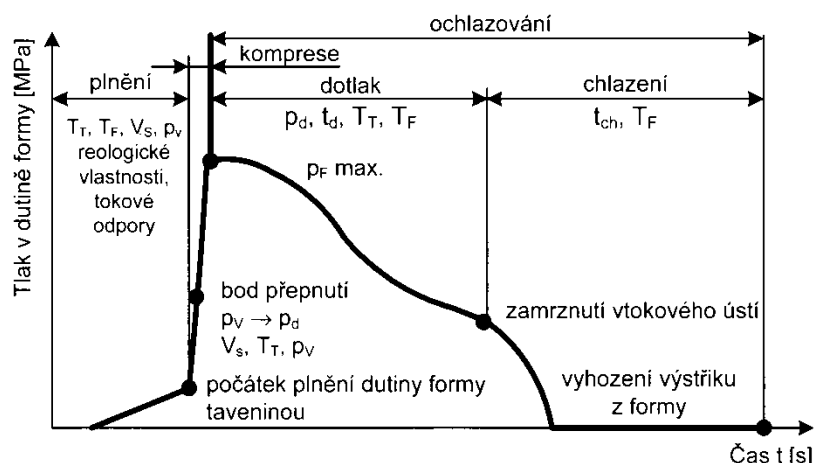
2.2 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS

Vstřikovací cyklus trvá desítky sekund dle velikosti a náročnosti plastového dílu. Číslicově řízené stroje umožňují měnit parametry jako je vstřikovací tlak, dotlak nebo vstřikovací rychlost během jednoho cyklu pro dosažení optimálních vlastností lisovaného dílu. Stabilitu parametrů sledujeme pomocí elektronické výbavy lisu a hlídáme nastavené meze hodnot. Ke správnému výlisku lze dojít nastavením různých parametrů vstřiku. Pro optimalizaci parametrů při lisování je třeba řada zkušeností a praxe. Existuje řada SW nástrojů pro modelaci vstřikovacího procesu plastických hmot. Stačí zadat 3D model dílu. Dodavatelé SW garantují 80-90 [%] podobnost SW modelace se skutečným procesem vstřikování. [2]

Vstřikování probíhá nadávkováním vysušeného granulátu (do 150 [°C]) a jeho plastikací ve vstřikovacím stroji. Následně je dopraven za určité teploty (150 – 400 [°C]) a tlaku (až 250 [MPa]) do dutiny vstřikovací formy. Po řízeném ochlazení formy (cca 20 – 150 [°C]) je výrobek vyjmut z dutiny formy. [2]

Rozdělení vstřikovacího cyklu: [2]

1. Uzavírání formy a vyvolání uzavírací síly.
2. Příjezd vstřikovací jednotky k formě a vytvoření přitlaku.
3. Vstřikování
4. Přepnutí ze vstřikovacího tlaku na dotlak.
5. Dotlaková fáze.
6. Fáze chlazení výstřiku ve formě a dávkování taveniny před čelo šneku.
7. Odjezd vstřikovací jednotky.
8. Otevření formy.
9. Vyhození nebo vyjmutí výstřiku z formy.



Obr. 5. - Fáze vstřikovacího cyklu [2]

Technologické parametry fází vstřikování ovlivňující kvalitu výstřiku: [5]

- vstřikovací tlak (ovlivňuje rychlost plnění, uzavírací sílu, vnitřní pnutí, smrštění, orientaci – tj. narovnávání makromolekul do směru toku, atd.),
- teplota taveniny (konkrétní teplota závisí na druhu plastu a ovlivňuje tekutost plastu, vstřikovací tlak, dobu chlazení a tedy dobu cyklu, smrštění, tlakové ztráty, dotlak, atd.)
- teplota formy (konkrétní teplota závisí na druhu plastu a na charakteru výrobku, ovlivňuje tekutost plastu, rychlost plnění, dobu chlazení, lesk výrobku, povrch výrobku, teplotu taveniny, dotlak, vnitřní pnutí, smrštění, atd. – z technologického hlediska má být co nejvyšší, hlavně u semikrystalických plastů),
- rychlost plnění dutiny formy má být co nejvyšší, je však nutné kontrolovat teplotu taveniny, aby nedošlo k degradaci hmoty, nevýhodou je i vysoká orientace makromolekul
- výše a doba trvání dotlaku (ovlivňuje hlavně rozměry výrobku, smrštění a vnitřní pnutí).

Vliv fází vstřikovacího cyklu: [2]

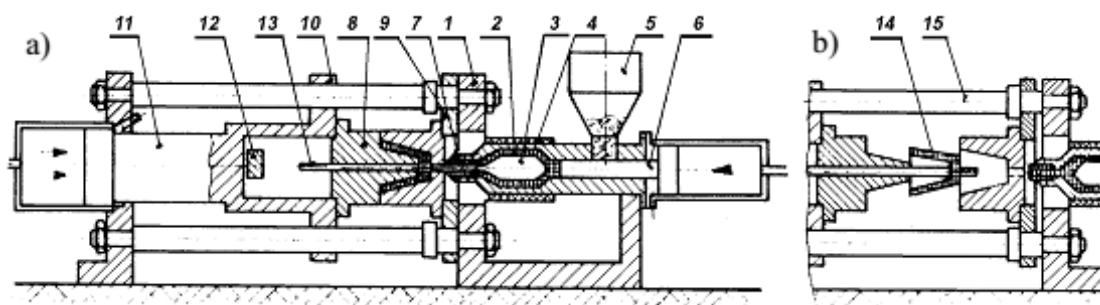
- plnění – povrchové vlastnosti (vzhled), orientace
- komprese – dokonalost tvaru (při překročení p_{Fmax} – otřepy, přetoky, poškození nástroje
- dotlak – hmotnost, rozměry, vnitřní pnutí (při nízkém p_d – prodapliny, lunkry)
- chlazení – hlavně rozměry výstřiku

2.3 VSTŘIKOVACÍ STROJE

Základním technologickým zařízením pro zpracování plastů vstřikováním je vstřikovací stroj, který v dnešní době pracuje plně automaticky. Pořizovací cena je však značně vysoká a rozměry stroje jsou mnohonásobně větší než zpracováváný výstřik. Stroj realizuje celý vstřikovací cyklus a skládá se z těchto základních strojních součástí: [4], [5]

- Vstřikovací jednotka, zajišťuje přípravu taveniny a její vstříknutí do uzavřené formy.
- Uzavírací jednotka, ovládá formu (uzavírání, otevírání, vyhazování výstřiku).

Výrobce vstřikovacích strojů je schopen k základnímu strojnímu vybavení dodat také plně automatizované pracoviště, které obsahuje: manipulátory, roboty, temperační zařízení formy, zařízení pro kompletní zpracování granulátu a dopravníky pro vyhozené výstřiky. [5]

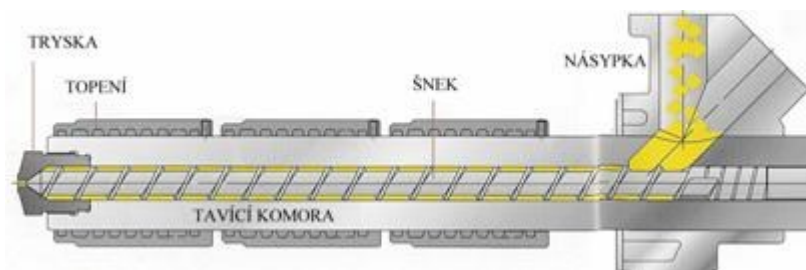


1 – rám stroje, 2 – tavicí komora, 3 – torpédo, 4 – topení, 5 – násypka, 6 – vstřikovací píst, 7 – vstřikovací tryska, 8 – vstřikovací forma, 9 – upínací desky, 10 – vedení, 11 – hydraulický píst, 12 – doraz vyhazovače, 13 – vyhazovač, 14 – výstřík, 15 – nosný sloup

Obr. 6. - Vstřikovací stroj a) vstřikování, b) vyhození výstříku [4]

Vstřikovací jednotka:

Dnešní nejpoužívanější vstřikovací šnekové jednotky postupně vytlačily jednotky pístové, které mají v dnešní době zanedbatelný význam. Úkolem plastikační jednotky je připravit termicky homogenní taveninu s minimálním obsahem uzavřeného vzduchu a za co nejkratší časový úsek. Při plastikaci se šnek otáčí a z hrdla násypky nabírá granulovaný plast, který stlačuje a dopravuje jej do vytápěných částí tavicí komory, kde materiál taje a jako tavenina se hromadí před čelem šneku a šnek během otáčení ustupuje dozadu. Po zplastikování potřebného množství plastu se otáčivý pohyb šneku zastaví a šnek se bez otáčení pohybuje dopředu jako píst a vstřikuje taveninu do dutiny formy. Jelikož plastikace nové dávky plastu může probíhat ještě ve fázi chlazení výstříku ve formě, je výrobní cyklus kratší oproti pístovým strojům. [5]



Obr. 7. - Vstřikovací jednotka [5]

Uzavírací jednotka:

Hlavní úkol vstřikovací jednotky je být nosným ústrojím vstřikovací formy. Zajištění dostatečné uzavírací síly aby nedocházelo k přetokům v dělicí rovině a v oblasti všech pohyblivých uzavíracích částí (čelistí). [2]

Podle druhu pohonu dělíme uzavírací jednotky na hydraulické (příme, se závorováním), hydraulicko-mechanické a elektromechanické. Jednotky mají programovatelnou uzavírací sílu i rychlost a jsou pevně spojeny s ložem stroje. [4]

2.4 VSTŘIKOVACÍ FORMY

Vstřikovací forma je nástroj, který se upne na vstřikovací stroj. V průběhu vstřikovacího procesu se do tvarových dutin plní roztavený plast, který po zchladnutí vytvoří požadovaný tvar a funkční vlastnosti výstřiku. Během požadované životnosti musí splňovat tyto požadavky: [8]

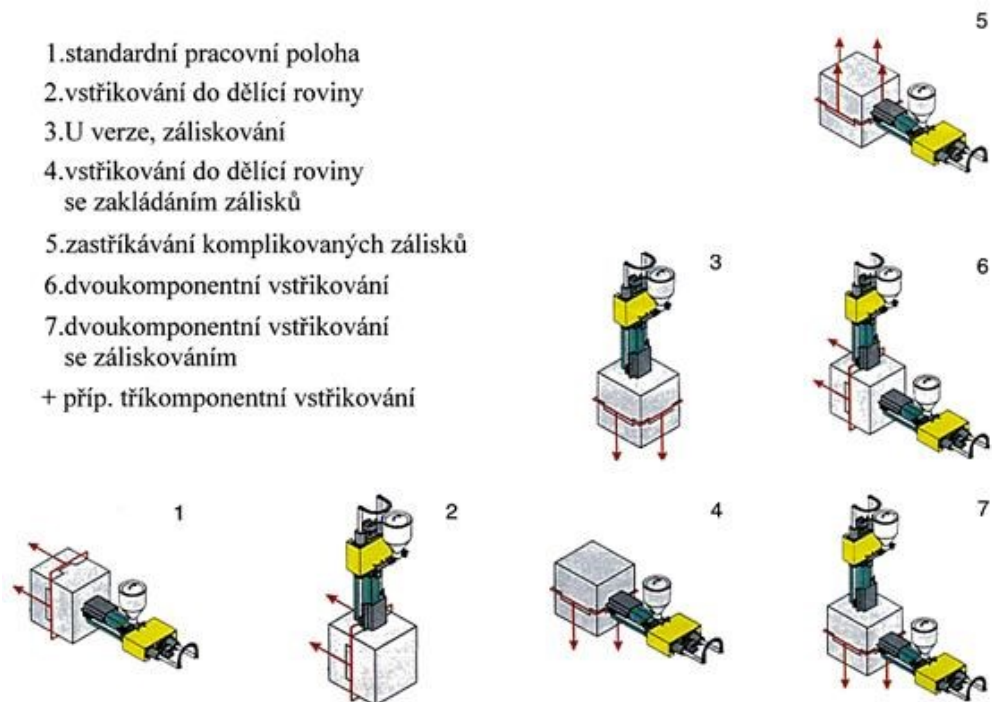
- odolávat vysokým tlakům
- zajistit požadovaný rozměr a kvalitu výstřiku
- snadné vyhození výstřiku
- snadná obsluha a automatický provoz
- nízká pořizovací cena
- snadná a rychlá výroba
- ekonomická spotřeba zpracovávaného plastu

Vstřikovací formy se vyznačují velkou rozmanitostí konstrukcí. Jde je ovšem zařadit do následujících skupin: [8]

- podle násobnosti forem (jednonásobné a vícenásobné)
- podle způsobu zaformování a konstrukčního řešení desek formy (dvoudeskové, třídeskové, etážové, čelistové, vytáček apod.)
- podle konstrukce vstřikovacího stroje na formy se vstřikem kolmo na dělicí rovinu a na formy se vstřikem do dělicí roviny (Obr. 8.) (nebo také kombinace obou způsobů)

Volba materiálu vstřikovací formy závisí na druhu zpracovávaného plastu, na použité technologii, na velikosti výrobku, jeho složitosti a na velikosti série. Důležitým faktorem životnosti formy je provedené tepelné zpracování na tvarových částech nástroje. Dalším důležitým úkolem při konstrukci forem je stanovení rozměrů a výrobních tolerancí tvarových částí. Pro určení a výpočet těchto rozměrů jsou rozhodující smrštění, tolerance jednotlivých rozměrů výlisku a opotřebení činných částí nástroje. [5]

Veliký důraz je kladen na životnost a mechanické vlastnosti dutin a komponentů vstřikovací formy. Využíváním PVD (Physical Vapour Deposition) povlaků dosahujeme snížení tření pohyblivých součástí a vstřikované plastu s materiálem tvarové dutiny, omezení abrazivního otěru (plnění skelnými vlákny) a přilepování polymeru k dutině formy. PVD povlaky nemění počáteční drsnost povrchu, vyjmutí výstřiku je snazší, kvalita a životnost vyšší a náklady na výrobu se snižují. [27]



Obr. 8. - Poloha mezi vstřikovací jednotkou a dělicí rovinnou formy [5]

Vstřikovací forma se skládá z mnoha funkčních dílů (Obr. 9.). Konstrukční části zajišťují správnou činnost nástroje a funkční části jsou v kontaktu s tvářeným materiálem a udělují mu požadovaný tvar. Jednotlivé díly lze rozdělit do několika kategorií: [8]

Díly pevné poloviny (DS):

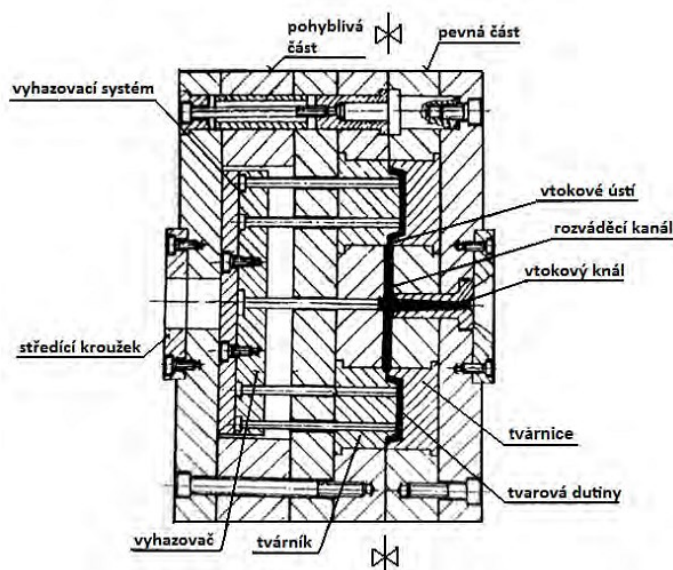
- vtokový kanál
- rozváděcí kanál
- vtokové ústí
- tvárnice (vymezuje tvarovou dutinu)

Díly pohyblivé poloviny (AS):

- vyhazovací systém
- tvárník(vymezuje tvarovou dutinu)

Díly společné pro obě poloviny:

- temperační systém
- upínací a vodící elementy
- středící kruhy



Obr. 9. - Části vstřikovací formy [8]

2.4.1 ZÁKLADNÍ METODICKÝ POSTUP NÁVRHU VSTŘIKOVACÍ FORMY

Kompletní návrh vstřikovací formy dnes probíhá v moderních vývojových nástrojích. Příkladem takového softwaru je CATIA V5, která disponuje širokým portfoliem aplikačních modulů. Vyspělé technologie a přehlednost i ve složitých strojírenských sestavách zaručuje minimalizaci chyb a konstrukčních nedostatků. [7]

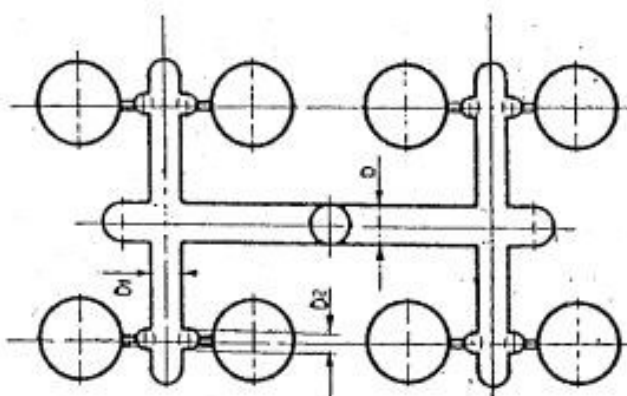
Postup návrhu:

1. Import modelu výstřiku a úprava hrubé geometrie (úkosování, smrštění, vtokový systém)
2. Návrh dělicích ploch tak aby díl byl jednoduše vyjmutelný a na vzhledových plochách nevznikaly stopy po dělicí rovině.
3. Model výstřiku se odečte od tvarových částí (tvárník, tvárnice)
4. Rozdělení podsestav na pevnou a pohyblivou stranu a doplnění o další konstrukční komponenty. Tyto díly čerpá konstruktér z knihovny normálí světových výrobců (HASCO, DME, STRACK).
5. Konstrukce vedlejších dělicích ploch (ČELISTI)
6. Konstrukce vyhazovacího systému pro snadné vyhození výstřiku.
7. Využití kinematických analýz pro ověření funkčnosti a odstranění případných kolizí.
8. Tvorba temperačního systému celé sestavy formy bez nebezpečí kolize s ostatními funkčními částmi formy.
9. Následuje tvorba 3D a 2D výkresové dokumentace.
10. V případě systému CATIA V5 je možno vytvořenou geometrii přímo využít pro CAM tvorbu frézovacích programů.

2.4.2 VTOKOVÉ SYSTÉMY

Studené vtokové systémy

Vtokový systém zajišťuje při vstřiku vedení proudu roztaveného plastu. Naplnění tvarové dutiny musí proběhnout v co nejkratším čase a s minimálními odpory. Zásadní rozdíly vtokového systému jsou především v konstrukci násobných forem (Obr. 10.). Naplnění dutin termicky homogenní taveninou musí proběhnout za stejného tlaku a současně. Nevýhodou studených vtokových systému je, že během průtoku taveniny roste její viskozita na vnějším povrchu odvodem tepla. Vysoká viskozita tudíž požaduje vysoké tlaky v systému (40 až 200 MPa).[3]

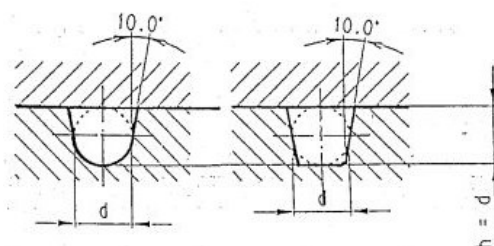


Obr. 10. - Odstupňování násobného vtokového systému [3]

Volba rozměrů rozváděcích kanálů:

Průřez vtokových kanálů musí být dostatečně velký tak aby po naplnění tvarové dutiny bylo jádro taveniny v plastickém stavu a byl umožněn dotlak. Současně je třeba myslet na spotřebu plastu. Pro snadnou vyrobiteľnost volíme lichoběžníkový tvar kanálu (Obr. 11.) tak aby při minimálním povrchu byl co největší průřez. Pro prvotní stanovení rozměrů používáme empirické vztahy (viz. [3]), které zohledňují:[3]

- charakter výstřiku (tloušťka stěn, předpokládaná doba dotlaku)
- tepelné a reologické vlastnosti taveniny
- parametry vstřikovacího stroje



Obr. 11. - Lichoběžníkový rozváděcí kanál [3]

Volba vtokového ústí:

Velmi důležitá součást vtokového systému je vtokové ústí, které má rozhodující vliv na vzhled a požadovanou kvalitu výstřiku. Nevhodným umístěním a tvarem se udělá nejvíce chyb v konstrukci. Vtokové ústí se volí v co nejmenších rozměrech, to zajistí snadné začištění. Ovšem musí spolehlivě naplnit tvarovou dutinu. V praxi se volí menší rozměr ústí a počítáme s případným zvětšením. [3]

Rozhodující parametry pro umístění vtoku:[8]

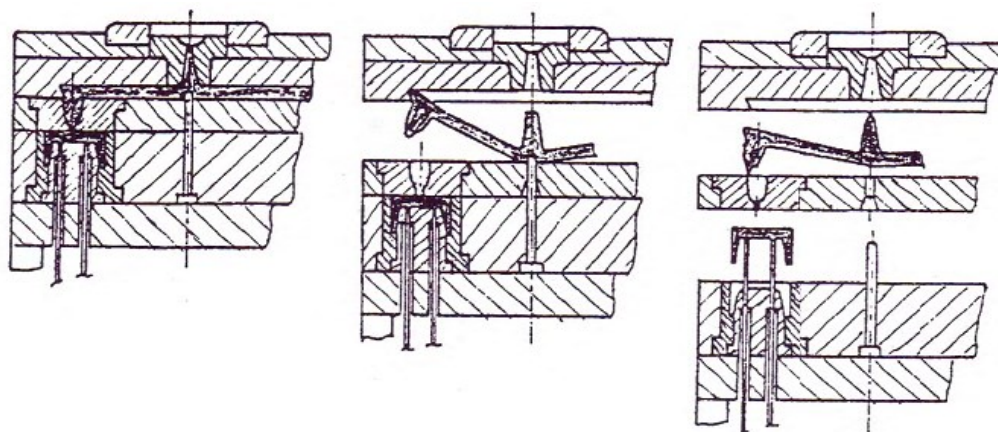
- *do nejtlustšího místa stěny výstřiku (nevhodné u strukturních pěn)*
- *do geometrického středu dutiny (aby tavenina zatekla do všech míst rovnoměrně)*
- *při požadavku na větší přesnost výstřiku se musí vzít v úvahu rozdíly podélného a příčného smrštění (u semikrystalických a plněných plastů)*
- *ve směru orientace žeber*
- *mimo více namáhaných nebo opticky činných ploch*
- *u obdélníkových tvarů ve směru delší strany*
- *tak, aby umožnil únik vzduchu z dutiny*
- *aby bylo možné přesměrovat proud taveniny při vzniku studených spojů mimo vzhledové a mechanicky namáhané místa*
- *aby stopa po vtoku neměla vliv na estetickou hodnotu výstřiku*
- *aby se zamezilo volnému vtoku taveniny, která by způsobovala turbulentní proudění při plnění dutiny*

Základní typy vtokových ústí:

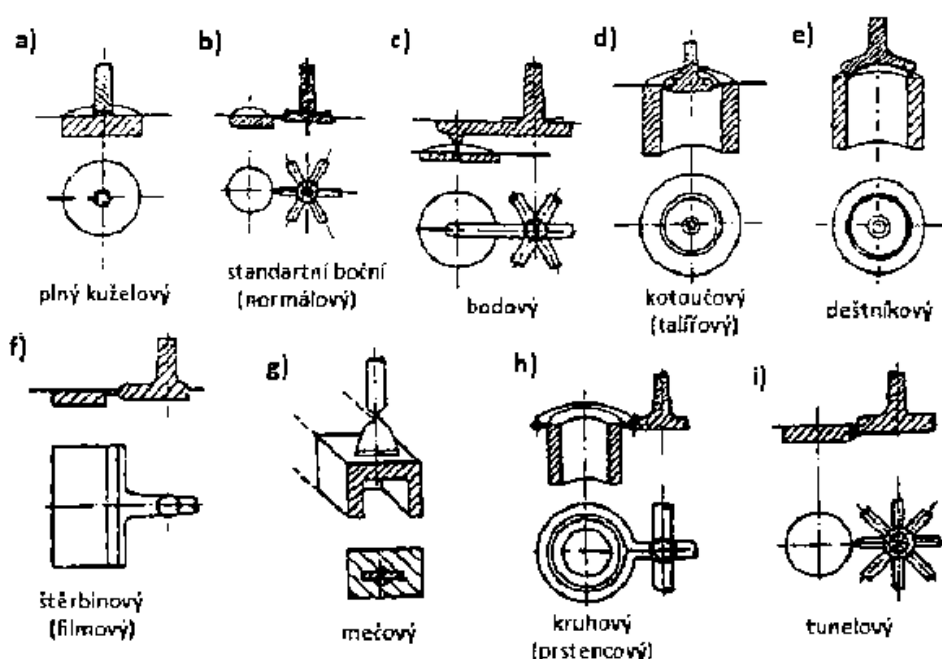
Existuje několik typů vtokových ústí, které se používají pro své specifické vlastnosti při plnění tvarové dutiny nebo pro snadné odstranění z výstřiku. Typy ústí jsou uvedeny na (Obr. 13.) a užití nezúžených a zúžených vtoků jsou podrobně popsány v odborné lit. [9]. Speciálním případem jsou vícenásobné vtoky kde naplnění tvarové dutiny, je pro konkrétní výstřik složité nebo nedostatečné jedním vtokem. Takto složitou koncepci vtokového systému je možno vytvořit jako samostatný díl, který se vloží do dutiny v nástroji. V práci se zaměřím jen na použitý nejznámější typ zúženého vtokového ústí, bodový vtok a jeho zvláštní případ vtok tunelový. [8]

Bodový vtok:

Zúžený vtok většinou o kruhovém průřezu. Při aplikaci je třeba použití třideskového systému formy (Obr. 12.) pro zajištění odtrhnutí vtoku, který ústí z vtokového kanálu nebo z předkomůrky. Tento typ není vhodné používat u méně tekutých a plněných plastů. [8]



Obr. 12. - Bodový vtok - třídesková koncepce [8]

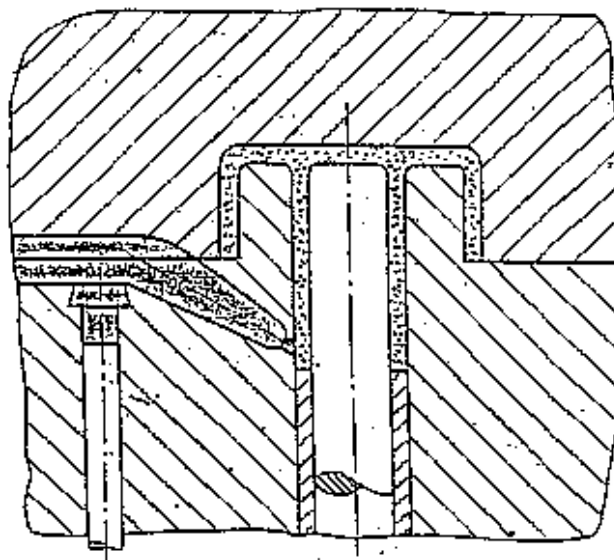


Obr. 13. - Základní typy vtokových ústí [8]

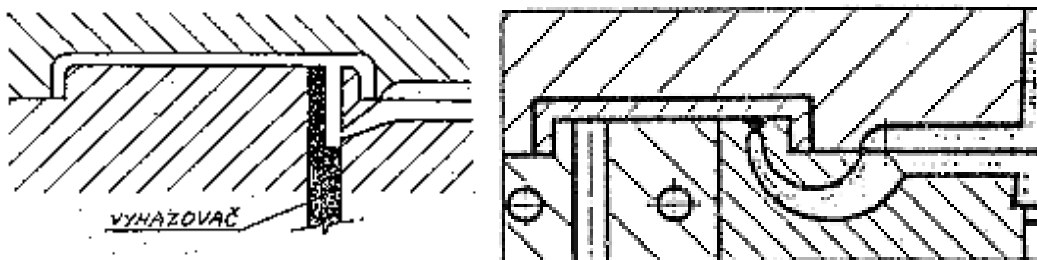
Tunelový vtok:

Je zvláštní případ bodového vtoku s výhodou umístění vtokového zbytku ve stejné dělicí rovině jako výstřík (Obr. 14). Tímto odpadá nutnost použití třídeskového systému. Umístění vtokového ústí je možné do pohyblivé i pevné poloviny. Pro oddělení výstříku a vtokového ústí je nutná existence ostré hrany a přidržovače vtoku, obvykle kombinovaný s vyhazovačem. Výhody těchto vtoků se využívají především pro tenkostěnné výstříky bez příliš viditelné stopě po vtoku. Výroba tunelového tvaru je zajištěna pomocí přesného elektrojiskrového obrábění, které zaručí přesný rozměr vtoku. [3]

Speciální typ tunelového vtoku je vtok srpkovitý. Využití pro vtoky kde by bylo zapotřebí použití žebra (Obr. 15) pro výhodné umístění na výstříku, nebo také pro vzhledové požadavky na stopu po vtoku. Výhodný pro plasty s vysokou elasticitou. [3]



Obr. 14. - Tunelový vtok [9]



Obr. 15. - Tunelový vtok s žebrem a srpkovitý vtok [3]

Vyhřívání vtokových systémů

Tato technologie spočívá v tom, že tavenina po naplnění tvarové dutiny zůstává v plastickém stavu po celé oblasti vtokového systému (od tvarové dutiny po ústí formy). Pro zavádění vyhřívání vtokového systému do praxe byla hlavním důvodem úspora vstřikovaného plastu. Dnešní vyhřívání vtokové soustavy tvoří vyhřívání trysky, které se vyznačují minimálním úbytkem tlaku i teploty za optimálních tokových vlastností taveniny. Rozvoj těchto trysek se začal rozvíjet při zavedení výkonných a rozměrově minimálních topných těles, kde k jejich kontrole slouží termoelektrická čidla. [3]

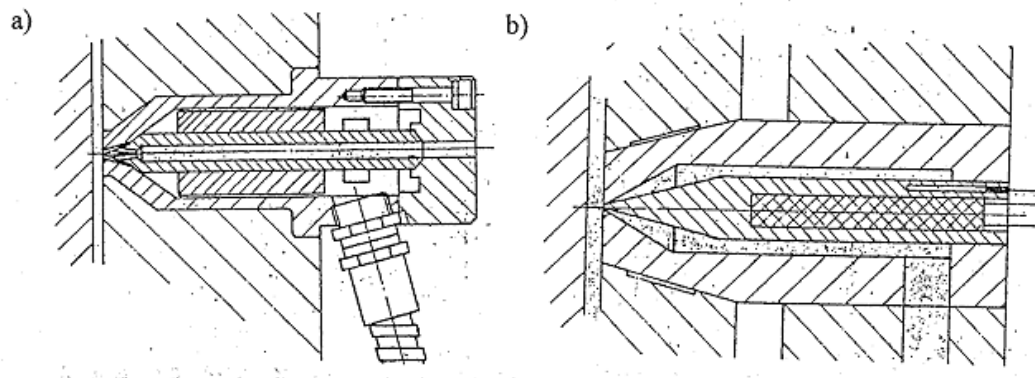
Zvolení vyhřívání vtokové trysky se provádí výběrem z katalogu výrobců vtokových systémů a také normálí pro vstřikovací formy (HASCO, DME, STRACK...). Další možností je návrh vstřikovací trysky specializovanou firmou, která provede výpočty pro konkrétní výstřik a zvolí nejvhodnější konstrukční řešení. Pro výpočet trysky jsou nezbytné parametry rozměrů formy, objemu výstřiku, teploty a času plnění tvarové dutiny. [3]

Výhody vyhřívání vtokových systémů: [3]

- automatizace výroby
- využití v hromadné výrobě (n-násobné vstřikovací formy)
- zkracování výrobního cyklu (odpadá nutnost chlazení rozváděcích kanálů)
- vyloučení odpadu vtokových zbytků
- snížení nákladů na odstranění vtokových zbytků

Základní rozdělení konstrukcí vstřikovacích trysek: [3]

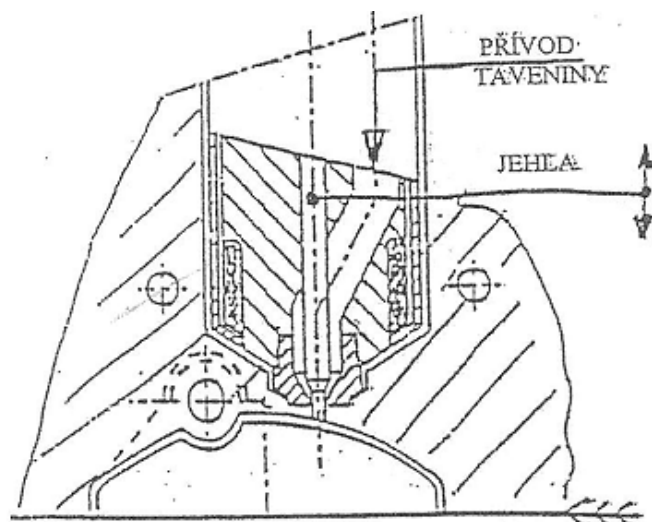
- a) s vnějším vytápěním – tavenina proudí vnitřní částí trysky a kolem tělesa je umístěno topení
- b) s vnitřním vytápěním – tavenina obtéká vnitřní vyhřívanou vložku



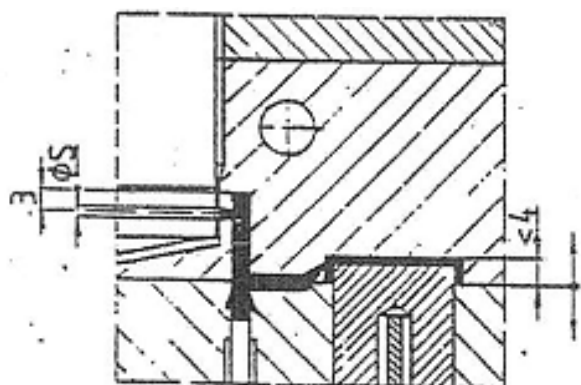
Obr. 16. – Vyhřívání vstřikovacích trysek [3]

Vstřikovací trysky se vyznačují značnou různorodostí provedení dle výrobců a specifického využití. Vyústění vtoku do dutiny formy může být zhotoveno jedním nebo více otvory kde se odstraňuje nevýhoda stopy vtoku na výstřiku. Dále se vstřikovací trysky dělí podle zaústění vtoku: [3]

- otevřené – pro plast, který netáhne vlas (PE)
- se špičkou, hrotem pro plasty náchylné k tažení vlasu (PS, ABS, PP)
- s uzavírací jehlou (Obr. 17) pro zažehlení vtoku (využívají hydraulické, pneumatické a elektrické ovládání)
- speciálně tvarované pro specifické využití (Obr. 18.)



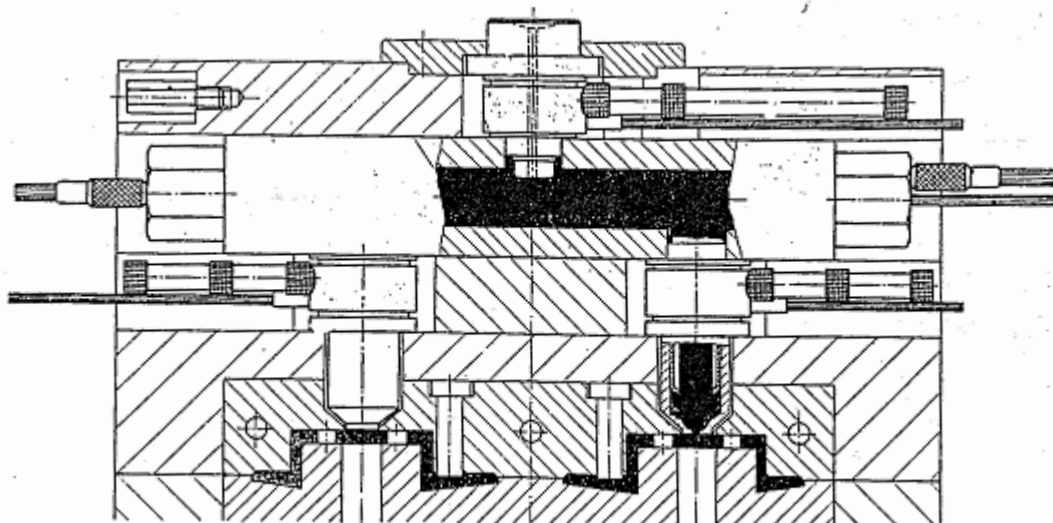
Obr. 17. - Tryska s uzavírací jehlou [9]



Obr. 18. - Speciální využití vstříkovací trysky [9]

Rozvodné bloky vyhřívaných systémů

Bloky slouží k rozvodu taveniny mezi ústím formy a vstříkovací tryskou nebo přímo k tvarové dutině. Stejně jako vstříkovací tryska jsou rozvodné bloky vytápěny a měřeny termoelektrickými čidly. Uložení bloku je koncipováno mezi tvarovou a upínací desku pevné poloviny vstříkovací formy (Obr. 19.). Výroba rozvodných bloků je nejčastěji koncipována do tvaru I, H, X, Y apod. Tepelná izolace od desek formy je nejčastěji řešena vzduchovou mezerou. Vytápění a konstrukční řešení rozvodu taveniny se liší provedením každého výrobce, ovšem otvory pro proudící taveninu musí být zhotoveny tak aby nikde nevznikaly ostré hrany, přechody a místa s mrtvými místy taveniny. Upevnění ve vstříkovací formě je řešeno přítlačnými kroužky, blok je ustředěn a zajištěn proti pootočení. [3]



Obr. 19. – Vyhřívaný vtokový systém [3]

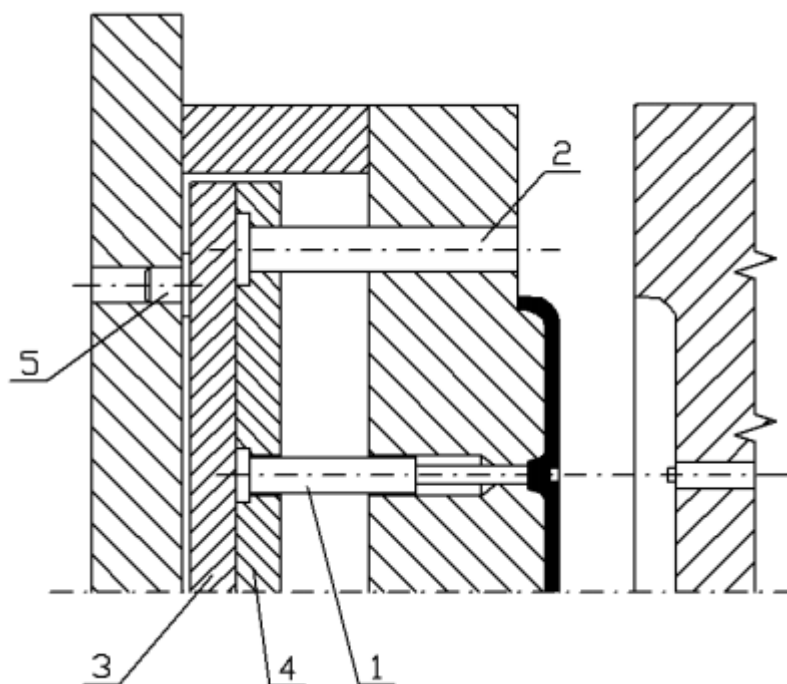
2.4.3 VYHAZOVACÍ SYSTÉM

Z důvodu ulpívání výstřiků při chladnutí na tvarových částech formy je potřeba do vstřikovacích forem zhotovovat vyhazovací systémy. Vysunutí výstříku obvykle probíhá z tvárníku tedy na pohyblivé straně formy. Celý vyhazovací systém koná pohyb vpřed směrem k pevné polovině formy a vyvolá vysunutí výstříku z formy. Tento pohyb většinou zabezpečují vyhazovací systémy zakomponované v uzavírací jednotce vstřikovacího stroje. V opačném případě se vyhození zabezpečí ručním, hydraulickým nebo pneumatickým zařízením. V případě využití studeného vtokového systému se vyhazují také vtokové zbytky. Vratný automatický pohyb systému je zajišťován vratnými kolíky, pružinami a speciálními systémy. Pro kontrolu automatického chodu se využívají koncové spínače. [11]

Při konstrukci vyhazovacího systému je třeba dbát na to, že vznikají stopy po vyhazovačích na výstříku. Tyto stopy jdou potlačit snížením výšky vyhazovače. Tímto krokem dosáhneme zahlazení plochy na výlisku, ovšem při požadavku pohledové plochy musíme zvolit jinou koncepci vyhazování. V některých případech jde vyhazovače využít k výrobě funkčních dutin a také pro zajištění chodu čelistí (při možnosti poškození tvarové dutiny vyhazovačem). Vyhazovače také využíváme pro odvzdušnění dlouhých žebířů na výstříku. Z důvodu další konstrukce temperačního systému je třeba volit vyhazovače v co nejmenším počtu, ale zároveň musí zajistit spolehlivé vysunutí výstříku bez přičení v tvarové dutině. Takové vyhazování může způsobit trvalé tvarové změny a tím výstřík znehodnotit. [11]

Mechanické vyhazování

Nejčastější způsob vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků, stíracích desek a stíracích kroužků. Provedení vyhazovacích kolíků se využívá kruhového, čtvercového a obdélníkového průřezu. Výroba vyhazovačů spočívá v nákupu od dodavatelů normálí (HASCO, DME, STRACK.) a poté se výškově zkracují a upravují základny pro správné kotvení do kotevní desky. [11]

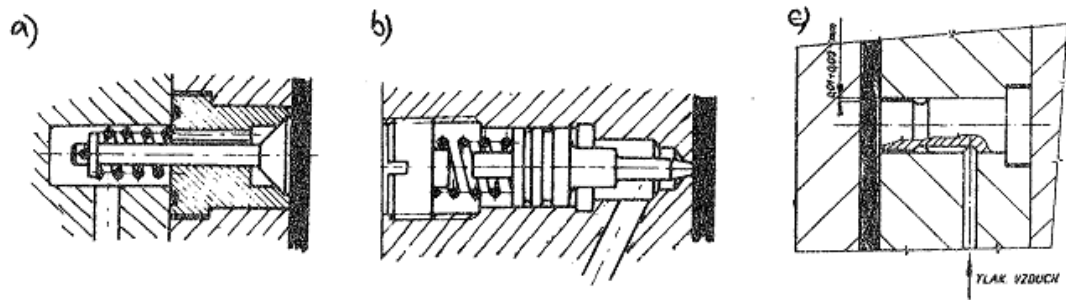


Obr. 20. - Mechanické vyhazování [8]
1-Vyhazovací kolík, 2-Vratný kolík, 3-Deska opěrná, 4-Deska kotevní,
5-Doraz vyhazování

Vzduchové vyhazování

Vzduchové vyhazování je výhodné pro slabostěnné výstřiky o větších rozměrech ve tvaru nádob. Tyto výstřiky vyžadují zavzdušnit, aby se při vyhazování nedeformovaly. Běžné mechanické vyhazování by v tomto případě značně zvětšilo formu (velký zdvih vyhazování) a nebylo by možno zaručit bezvadnou funkci vyhazování. [8]

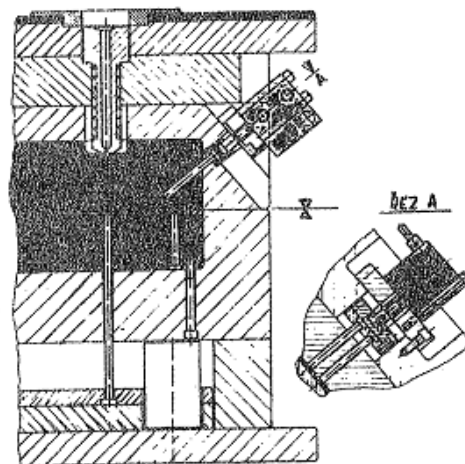
Princip tohoto vyhazování spočívá v tom, že mezi výstřik a tvar formy se přivede stlačený vzduch a ten zajistí rovnoměrné oddělení výstřiku od tvárníku. Přívod vzduchu do dutiny formy je zabezpečen ventily (Obr. 21.) (talířové, jehlové a speciálními kolíky). Otevření ventilu je zabezpečeno přívodem tlakového vzduchu a zavření pomocí pružiny integrované ve ventilu. [8]



Obr. 21. - Vzduchové vyhazování [8]
a) talířový ventil, b) jehlový ventil, c) spec. Kolík

Hydraulické vyhazování

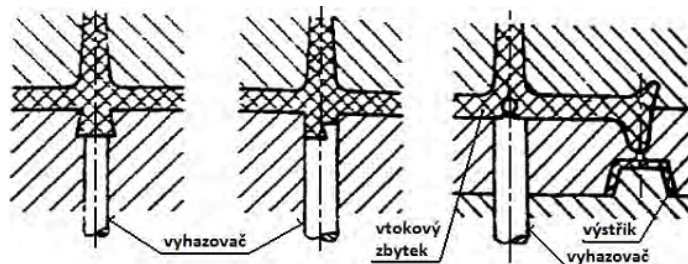
Hydraulické vyhazování je konstruováno jako samostatná hydraulická jednotka a ve většině případů je použita k ovládání mechanického vyhazování. Více než při samotném vyhazování se s nimi můžeme setkat u ovládání bočních posuvných čelistí. K přednostem tohoto vyhazování patří pružnější pohyb a flexibilita. [11]



Obr. 22. - Hydraulický posuv čelisti [11]

Vyhazování vtokového zbytku

Vyhazování vtokového zbytku se využívá při studeném vtokovém systému kdy je nutno při rozevírání formy vysunout vtokový kužel z vtokové vložky. Tento proces se řeší tvarovým podkosem v pohyblivé části formy. Volba daného způsobu se volí dle koncepce formy a funkce vtokového zbytku. (Obr. 23) [11]



Obr. 23. - Způsoby vyhazování vtokové zbytku [8]

2.4.4 TEMPERAČNÍ SYSTÉM

Účelem temperace je zajistit konstantní teplotní režim celé vstřikovací formy, která je své podstatě jen tepelný výměník. Kvalitně navržený temperační systém musí dosáhnout co nejkratšího pracovního cyklu a zároveň dodržet všechny technologické požadavky výroby. [8]

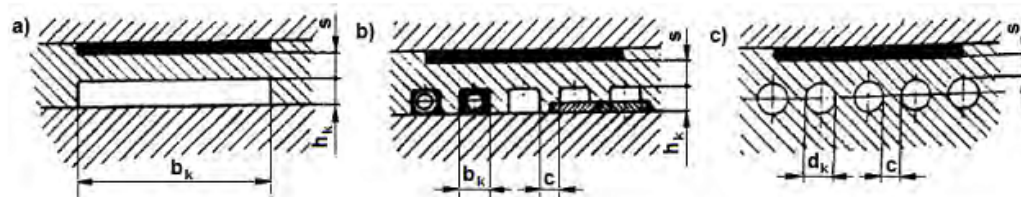
Uspořádání a dimenzování temperačního systému má také značný vliv na tvar výstřiku (deformace). I když jsou výše zmíněné požadavky všeobecně známy, tak neexistují přesné teoretické a konstrukční zásady, které by zohledňovaly značnou rozmanitost tvarů a materiálů plastových výstřiků. Každý materiál má totiž jinou zpracovatelskou teplotu a teplotu formy. (Tab. 1.) Většina návrhu závisí na zkušenosti a citu konstruktéra, který navrhuje konkrétní formu. V dnešní době pro kontrolu návrhu slouží moderní výpočetní metody pomocí Mold Flow simulačních analýz. S temperačním systémem je třeba počítat od samého začátku konstrukce při volbě dělicích rovin, vyhazovačů a při vložkování. [9]

Termoplast	Teplota taveniny [°C]	Teplota formy [°C]
ABS	190-250	50-85
PA 6	230-290	40-120
PC	280-320	85-120
HDPE	180-270	20-60
LDPE	180-270	20-60
PMMA	200-250	50-80
POM	180-220	50-120
PP	170-280	20-100
PS	180-260	55-80
PVC tvrdé	190-220	30-60
SAN	200-260	50-85
PSU	340-400	120-160
PAEK	380-430	160-220
LCP	310-360	65-95

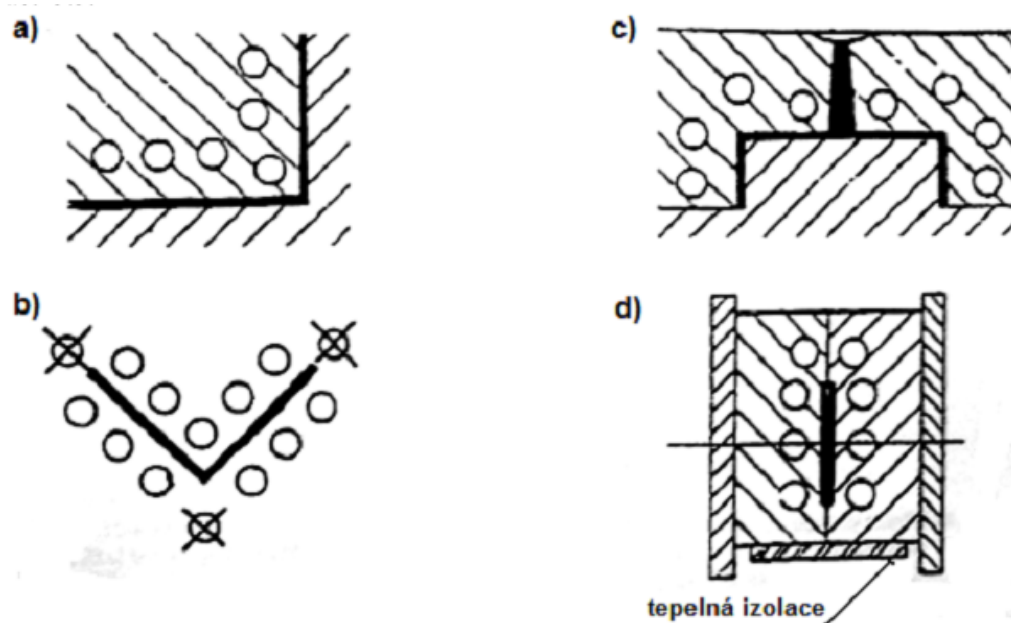
Tab. 1. - Zpracovatelské teploty plastů [8]

Obecné zásady volby temperačních kanálů

Temperační systém se skládá ze soustavy kanálů a dutin, které slouží k proudění kapaliny a ta odvádí teplo ze vstřikovací formy. Rozměry (Obr. 24.) a rozmístění kanálů se volí dle celkové koncepce formy. Výhodné je použít většího počtu kanálků o menším průměru. Toto řešení zajistí menší kolísání teploty v povrchu dutiny formy. Je třeba vzít v úvahu také tuhost a pevnost stěny tvarové dutiny. Rozmístění v idealizovaném případě je rovnoměrné a ve stejné vzdálenosti od povrchu tvaru. (Obr. 25.) V případě rozšíření stěny se kanály přiblíží tvarové dutině pro lepší přestup tepla. [11]

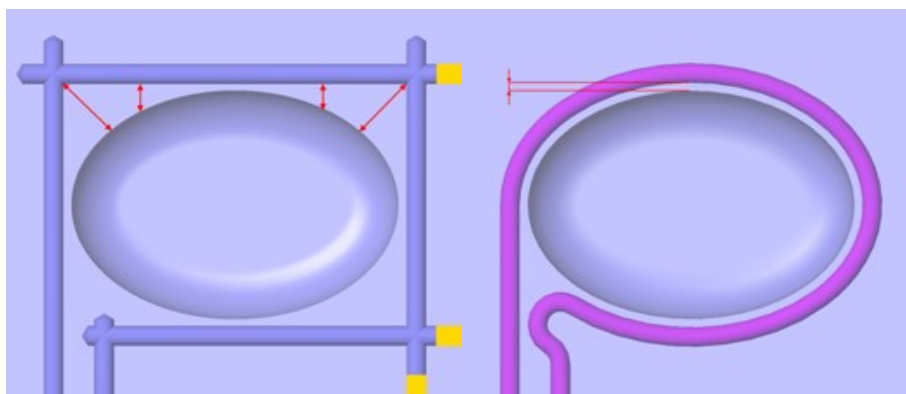


Obr. 24. - Průřezy chladících kanálů [8]



Obr. 25. - Rozložení temperačního systému [8]

V případě využití malých tvarových dutin nemusí být temperace pomocí kanálů možná nebo málo účinná. V praxi se využívají přepážky umožňující recirkulaci temperačního media, volba materiálu o vyšší tepelné vodivosti a nejúčinnější řešení tepelných trubic. V dnešní době je tendence využívat tzv. konformního chlazení, které hlavně při složitých výstřicích může zmenšit deformace, intenzifikovat chlazení a tím snížit čas potřebný pro chlazení výstřiku. (Obr. 26.) K zjištění aktuální teploty v dutině formy se využívají rozmanité konstrukční řešení teplotních čidel. [11]



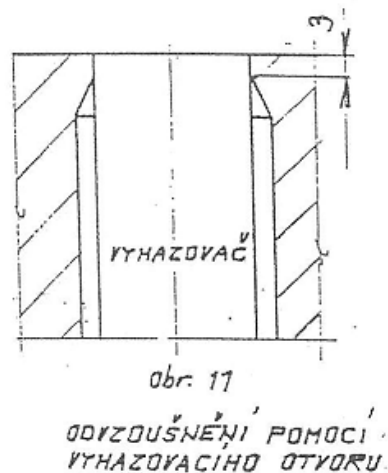
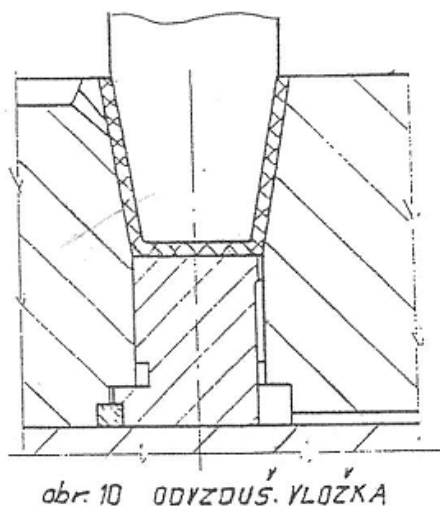
Obr. 26. - Srovnání klasického a konformního chlazení [10]

2.4.5 ODVZDUŠŇOVÁNÍ TVAROVÝCH DUTIN

Odvzdušnění tvarových dutin formy se může jevit jako zdánlivě nedůležité, ovšem při zkoušení již hotového nástroje se jeho nedostatky mohou projevit nekvalitním vzhledem nebo nízkými mechanickými vlastnostmi výstřiku. Odvzdušnění lze v některých případech snadno konstrukčně vyřešit, ale v opačném případě může špatné řešení způsobit problémy nástrojaři a nemalé finanční ztráty. [11]

Při plnění tvarové dutiny taveninou je třeba zajistit únik potřebného objemu vzduchu, který je závislý na rychlosti plnění výstřiku. Nikdy se nepřizpůsobuje rychlost plnění v závislosti na chybném odvzdušnění. Chyby v odvzdušnění mohou způsobit zvláště u tenkostěnných výstřiků zamrznutí čela taveniny, bubliny zatlačené do výstřiku a nejčastěji spálení – tzv. DIESELŮV EFEKT. [9]

Vhodná místa pro odvzdušnění jsou ty, kde tavenina dorazí v nejdelším časovém úseku. U jednoduchých výstřiků si konstruktér určí místa odvzdušnění dle zkušeností. Při složitém výstřiku nebo v případě vícebodového vstřiku se místa odvzdušnění a studených spojů určí pomocí simulačních Mold Flow analýz. V praxi byly získány maximální rozměry odvzdušňovacích kanálů pro různé materiály. Je nutno brát na zřetel aby rozměry kanálu nezpůsobovaly přetoky na výlisku. V místech odvzdušnění využíváme odvzdušňovací vložku, kolík, vyhazovače, svazky lamel (vzduchové síto) a pro poslední záchranné řešení můžeme využít také vložky z porézního materiálu, které mají nevýhodu zanášení. [9]



Obr. 27. - Systémy odvzdušnění [9]

3 KONSTRUKCE VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ

Konstrukční návrh součástí z plastických hmot se řídí naprosto odlišnými zákonitostmi oproti kovovým výrobkům. Konstruktor výstřiku musí brát v úvahu technologické děje při vstřikování a zakomponovat je do návrhu. Všeobecně platí, že čím jednodušší je součást, tím je snadnější dodržení pevnostních, rozměrových a finančních požadavků. [3]

Základní technologické a konstrukční uzly vstřikování byly popsány v (kap. 2.). V této kapitole se zaměřím na postup při návrhu součástí z plastu a jejich zaformování do dutiny vstříkovací formy. Konstrukce výlisku musí splňovat tyto hlediska: [9]

a) Funkční

- funkční vlastnosti plastového dílu
- užitné, bezpečnostní, ergonomické, estetické hlediska

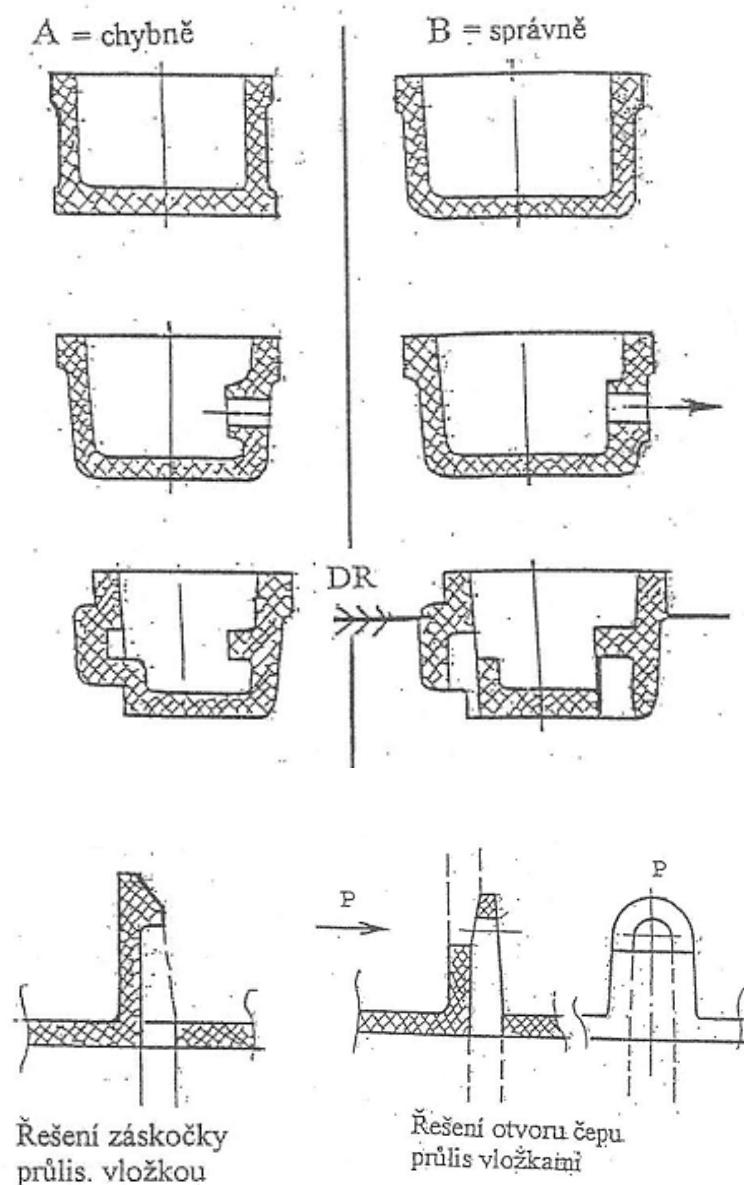
b) Lisotechnické

- zaformovatelnost
- tloušťky stěn, žeber, konstrukce nálitků a rádiusu
- lisovací úkosy
- tvaru stěn dílů (deformace velkých rovinných ploch, lunkry, vtaženiny)
- tolerance výlisku z hlediska technologických možností
- volba vhodného plastu
- zohlednění norem pro příslušný finální výrobek

V praxi se při konstrukci výrobků z plastů vyrábí prototypy, které slouží k ověření funkčnosti, technologičnosti a optimálnímu zaformování s volbou dělicích rovin. Tvorbu prototypů zajišťuje obor Rapid Prototyping. Existuje několik postupů a technologií výroby s odlišnou přesností a kvalitou povrchu. Tyto přístupy ovšem zajišťují jen kusovou výrobu. V případě větší kusovitosti a zároveň požadavku na vyšší mechanickou a povrchovou kvalitu se modely vytváří v rozebíratelných prototypových formách nebo se odlévají v silikónových formách tzv. vakuovým litím. [9]

3.1 ZAFORMOVATELNOST

Zaformování ve vstříkovací formě je ideální způsob řešení dělicích rovin tak, aby výlisek byl konstruován co nejlépe, vzhledem k jednoduché, ekonomické a automatické výrobě. Techniku zaformování je nutno znát vzhledem ke konstrukci výstřiku a volit ji výhodně vzhledem k dalšímu použití modelu nástrojařem. Princip zaformování jednoduchých výstřiků je uveden na (Obr. 28.), ten ukazuje výhodnou volbu konstrukce, aby vyjmutí z formy bylo co nejjednodušší a zbytečně nezvyšovalo náklady. [9]



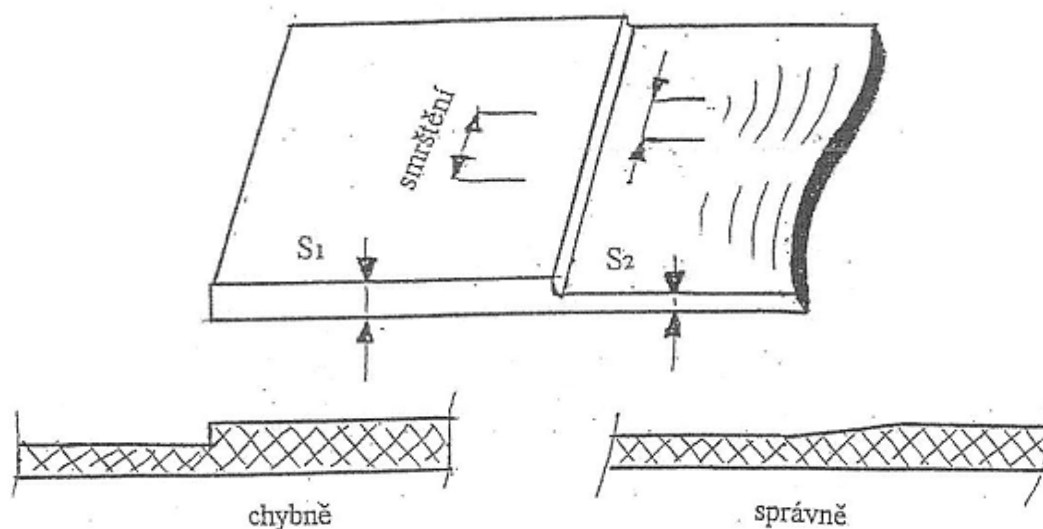
Obr. 28. - Princip zaformování [9]

3.2 TLOUŠŤKA STĚN

Tloušťka stěn je v první řadě závislá na požadavcích pevnosti a tuhosti. Tyto funkční požadavky jsou velice závislé na tvaru a volbě materiálu. V této chvíli vstupuje do návrhu lisotechnické hledisko, konkrétně tečení plastu ve formě. Každý typ plastu má definovanou charakteristiku poměrem délky tečení a tloušťky stěny (ITT-index toku taveniny). Tento údaj se uvádí v materiálovém listu konkrétního výrobce materiálu.

V praxi se tento problém řeší pomocí počítačové simulace analýzy plnění, která nám odhalí případné nedostatky v návrhu. Problém dráhy tečení plastu je možno vyřešit více vtoky nebo zesílením určitých partií výstřiku. Praktický případ tohoto řešení se vyskytuje na výstřicích nádob, kde na spodní straně jsou umístěny žebra pro lepší zatékavost taveniny. [9]

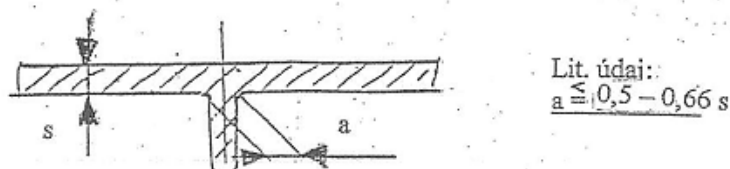
Dalším důležitým parametrem je rovnoměrnost tloušťek stěn a jejich vzájemné přechody. Nerovnoměrností tloušťky stěn vznikají nerovnoměrným smrštěním v různých částech výstřiku deformace a prnutí při chlazení. Tento jev vzniká rozdílným smrštěním a může vznikat tzv. zvlnění výstřiku. Při této volbě je nutno počítat s intenzivnějším chlazením silnější stěny a tím potlačit smrštění. [9]



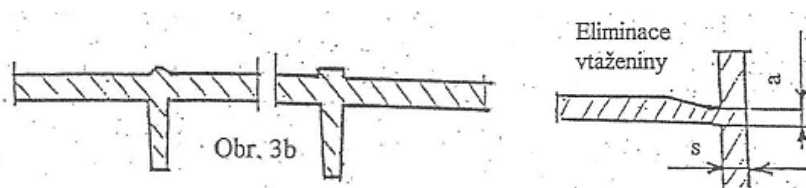
Obr. 29. - Smrštění a přechody stěn [9]

3.3 KONSTRUKCE ŽEBER

Hlavním účelem použití žeber je zvýšení pevnosti a tuhosti výstřiků. Ovšem při využití těchto konstrukčních prvků musíme dodržet poměr tloušťky stěny a použitého žebra. (Obr. 30) Tímto poměrem eliminujeme hrozbu vtaženiny při chladnutí výstřiku. Vtaženiny se netolerují u leštěných vzhledových ploch a nejčastěji u tmavších barev jsou značně viditelné. Tento problém lze eliminovat nálitkem (Obr. 31) na navazující stěně nebo vhodným dezénem povrchu. [9]



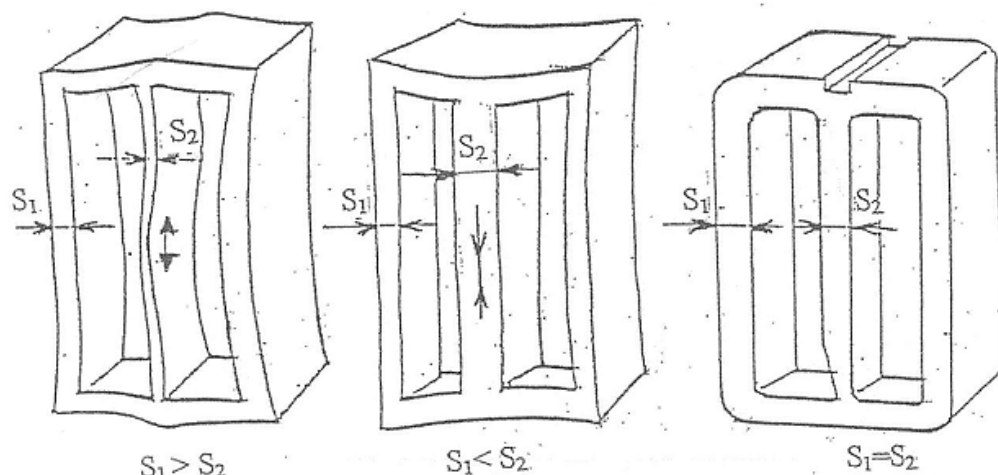
Obr. 30. – Poměr tloušťky stěn u žeber [9]



Obr. 31. – Eliminace vtaženin žeber [9]

3.4 DEFORMACE VÝSTŘIKU A LUNKRY

Deformace výstřiku nastává nejčastěji při rozdílných tloušťkách stěn, které způsobují rozdílně smrštění při chladnutí. Nejčastější chyby a možnosti řešení jsou zobrazeny na (Obr. 32). V praxi se také často vyskytuje úzký obdélníkový otvor pro elektrotechnický průmysl. Takovéto typy prvků se mohou uprostřed uzavírat, proto se uprostřed otvorů navrhuje kruhové vylehčení. [9]

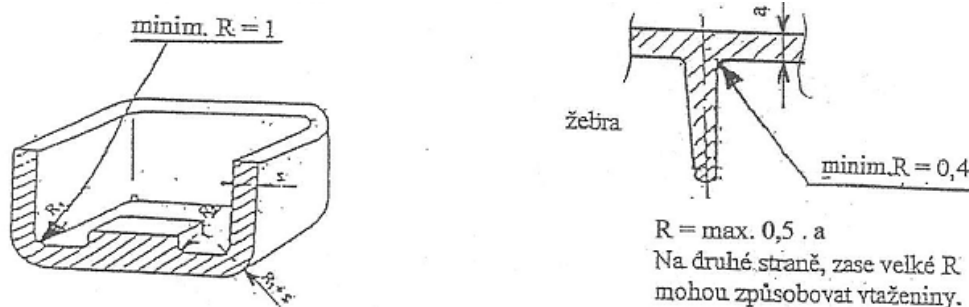


Obr. 32. - Deformace stěn výstřiků [9]

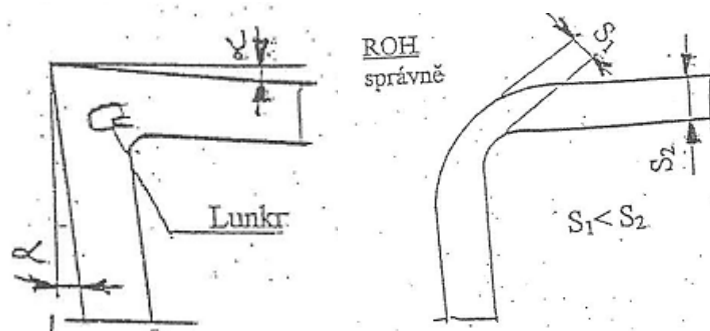
Ostré rohy a vruby:

Jakákoliv změna průřezu toku taveniny způsobuje špičku napětí. Zvláště na ostrých hranách se zvyšuje riziko prasknutí, které nejhůře snáší amorfní materiály s nízkou vrubovou houževnatostí. Na výstřiku se proto vhodně odstraní ostré přechody a rohy nejlépe pomocí co nejvhodnějšího zaoblení. (Obr. 33.) [9]

U výstřiků větších nádob s požadavkem na rovinnost se redukuje oblast rohu dle (Obr. 34.). Důvodem deformace a vytvoření lunkru je rozdílná intenzita odvodu tepla z vnitřní a vnější části. [9]



Obr. 33. - Zaoblení výstřiků [9]

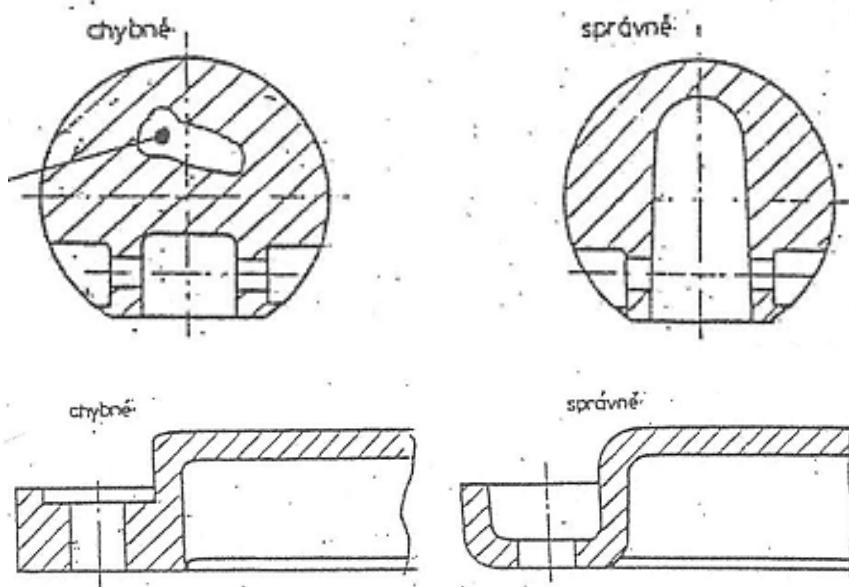


Obr. 34. - Řešení rohů na výstřiku [9]

Vakuové bubliny-lunkry

Lunkry vznikají nevhodnou konstrukcí tlustostěnných výstřiků v místě nahromadění materiálu. Není-li možnost doplnění objemu výstřiku nebo změnit konstrukci, tak při chladnutí za působení objemové kontrakce se vytvoří lunkr. Největším problémem je u transparentních dílů a zjištění u ostatních je možno např. rozřezáním výstřiku. Možnosti eliminace vzniku lunkrů: [9]

- Změna konstrukce (snížení nahromadění materiálu)
- Zvětšit průřez vtoku nebo jeho polohu
- Zvýšením teploty formy, tlakem nebo dotlakem
- Prodloužení času dotlaku (doplnění objemu)



Obr. 35. - Eliminace lunkrů změnou konstrukce [9]

3.5 KVALITA A POVRCH VÝSTŘÍKŮ

Součásti vyrobené technologií vstřikování nelze vyrobit ve stejné jakosti jako kovové. Na plastové výstřiky působí množství činitelů jako volba materiálu, vyladěná výrobní technologie, vstřikovací nástroj a jeho zpracování. Parametry sledující kvalitu výstřiku jsou: jakost povrchu, přesnost a funkční vlastnosti. Činitelé, kteří ovlivňují kvalitu jsou: [3]

- Smrštění – volba plastu
- Dodatečné smrštění – menší a trvající delší dobu (uvolňování vnitřního pnutí)
- Tečení (krip) – dlouhodobější silové působení (plastická deformace)
- Značná teplotní roztažnost
- Navlhnutí – změna rozměrů

Rozměry výstřiku

Rozměry výstřiku jsou jedním z nejdůležitějších kontrolních ukazatelů kvality a také jeden z nejdiskutovanějších bodů při výrobě nástroje a kontrole výstřiků. Jejich zbytečné upřesňování ovšem zvyšuje náklady. Přesnost a rozsah tolerančního pole si volí zákazník dle svých požadavků. Platí pravidlo, že tolerance by se měly používat jen na potřebné funkce, ať už se jedná o normy DIN nebo zastaralejší ČSN. Nejčastěji využívané tolerance jsou $\pm \text{tol.}[\text{mm}]$. Touto volbou odpadá přemodelování CAD modelu na střed tolerance. [3]

Povrch plastových součástí

Povrch výstřiku je další významný ukazatel kvality vstřikované součásti. Zároveň povrch výstřiku je obrazem kvality dutiny formy a jejího výhodného zaformování. Nejčastěji se u výstřiků sleduje: [3]

- Barevný odstín / transparentnost
- Hladkost povrchu (lesk, mat, dezén apod.)
- Dodatečná úprava (temperování, nátěr, potisk, obrábění, svařování)



Obr. 36. – Matný povrch výstřiku s potiskem [12]

3.6 VADY VÝSTŘÍKŮ

Vady vzniklé při vstřikování lze rozdělit do dvou základních skupin, jedná se o vady zjevné a skryté. Odstraňování těchto vad je nejlevnější a nejjednodušší pokud se jedná jen o změnu technologických parametrů na vstřikovacím stroji nebo vadu materiálu. Při vstřikování se ovšem mohou projevit vady špatné konstrukce formy (deformace výstřiku při vyhazování, zůstávání výstřiku na pevné polovině formy, špatné odvzdušnění, apod.) nebo závady na vstřikovacím stroji. Odstranění těchto závad bývá značně časově i ekonomicky nákladné. [2]

Zjevné vady:

Zjevné vady je možno lehce identifikovat při porovnání s referenčním vzorkem a dále je dělíme na: [2]

- Vady tvaru – nedostříknuté díly, propadliny, zvlnění, deformace, přetoky apod.
- Vady povrchu – nedostatečný lesk, matná místa, nevykopírovaný dezén, tokové čáry, černé tečky apod.

Skryté vady:

Skryté vady obvykle nejsou zjistitelné vizuální kontrolou, pokud není zvolen transparentní materiál. Tyto vady mají obvykle vliv na mechanické a funkční vlastnosti výstřiku. Skryté vady dělíme na: [2]

- Vnitřní pnutí
- Studené spoje
- Vakuové bubliny (lunkry)
- Anizotropie fyzikálně-mechanických vlastností

4 VÝROBA FOREM

Výroba jako oddělený proces představuje 40-70% z celkového času na realizaci vstřikovací formy. Celkovou dobu výroby lze zkrátit důsledným plánováním, využitím normovaných postupů, uplatněním typizovaných dílů (normálií) a použitím technologických novinek. Z těchto požadavků plyne, že konstrukce a výroba forem požaduje značnou odbornost pracovních sil a značné investiční náklady. Před vlastní výrobou předchází technická příprava, která obsahuje: [11]

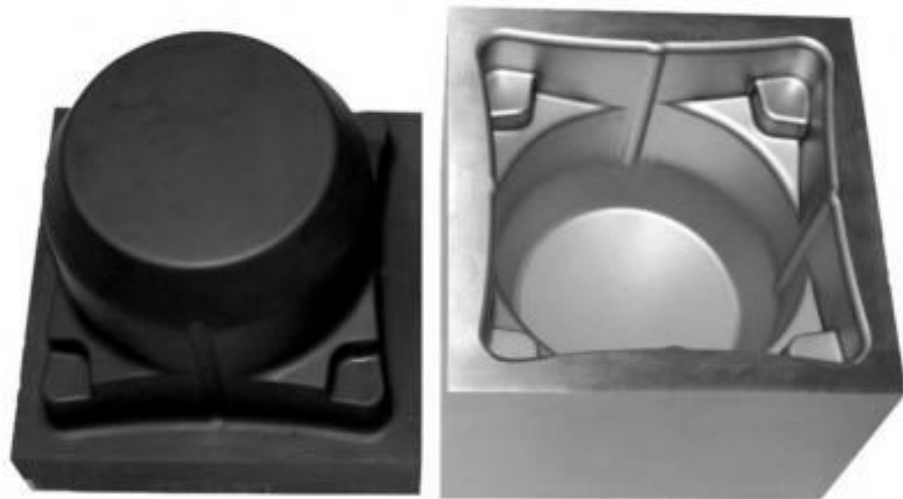
- Výkresovou dokumentaci s kusovníky
- Technologické postupy výroby a montáže
- Časové normy výroby, montáže a potřebný materiál

Výroba vstřikovacích forem je technologicky velice rozmanitá a každý nástroj má samozřejmě jiné technologické postupy. Ovšem základní časová vytíženost technologických operací může vypadat následovně: [11]

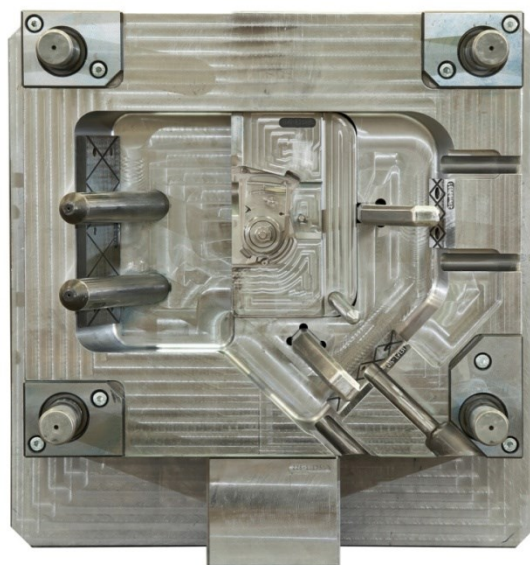
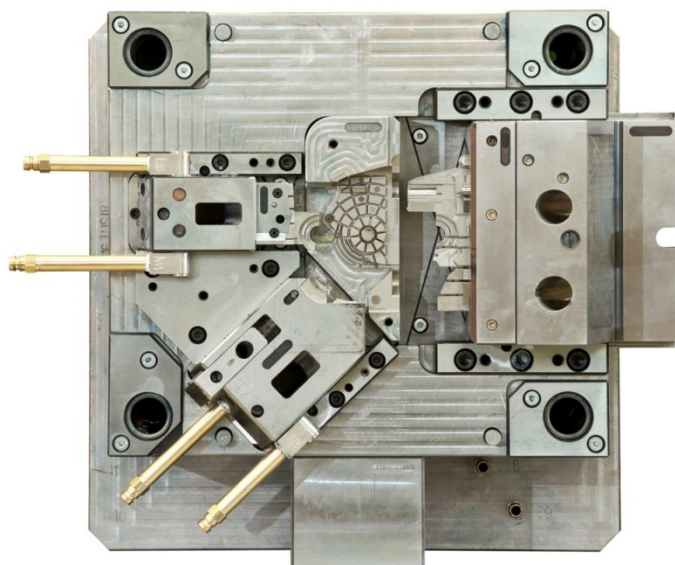
- Frézování – 28%
- Soustružení – 11%
- Broušení – 18%
- Elektroerozivní obrábění – 15%
- Ruční práce – 20%
- 3D měrové centra a ostatní operace – 8%

Numericky řízené frézky jsou významným strojem při výrobě vstřikovacích forem. Slouží převážně k výrobě funkčních tvarových částí forem a k výrobě elektrod (Obr. 37.) pro elektroerozivní stroje. Mimo jiné jsou hojně využívány pro tvrdé operace brusky na plocho, na kulato a tvarového broušení, elektroerozivní hloubičky a vyřezávačky. V těchto operacích se dohotovují náročné tvarové části při obrábění až v 5-ti osách.

Ruční operace spočívají v leštění a dokončování tvarů. Tato práce vyžaduje značnou časovou náročnost, moderní nástroje a kvalifikované pracovníky. Dále už ve výrobě probíhá jen mezi operační a finální měření na souřadnicových měrových centrech a kompletace vstřikovacího nástroje.(Obr. 38.) [11]



Obr. 37. – Elektroda a obrobek [13]



Obr. 38. – Kompletní vstříkovací forma (pohyblivá, pevná polovina a výstřík) [12]

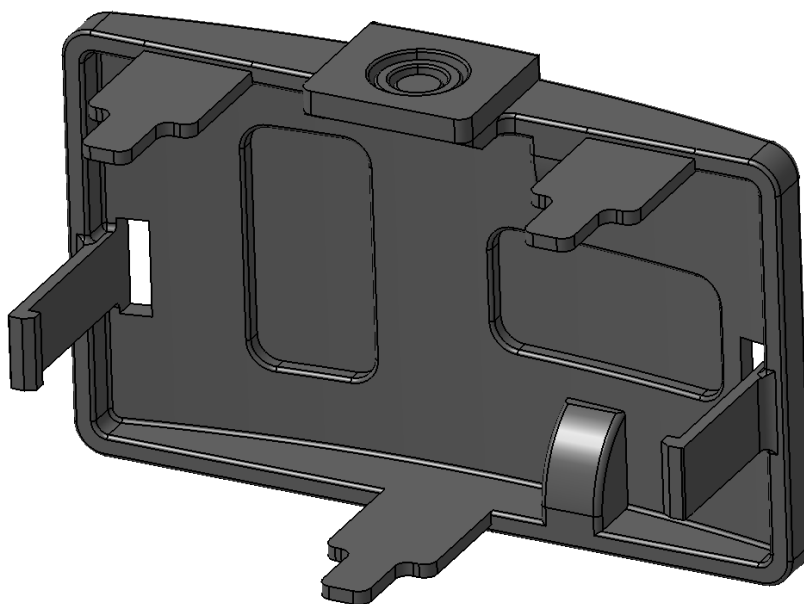
5 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ PLASTOVÉ SOUČÁSTI

Cílem diplomové práce je kompletní návrh vstřikovací formy, ovšem než začneme navrhovat formu je nutno plastovou součást upravit dle konstrukčních zásad pro vstřikování. Zadání dílu proběhlo ve formě předání 3D dat a následujících základních informací:

- Garantovaný počet zdvihů formy: 500 000
- Násobnost formy: 1+1
- Povrch dutiny formy: zrcadlový lesk
- Vstřikovaný materiál: PC, MAKROLON 2407 (transparentní)
- Tunelový vtok na pevné polovině formy
- Hybridní rozvod taveniny (Horký + studený vtokový systém)
- Úpravy konstrukce součásti dle lisotechnických zásad
- Vstřikovací lis volit v rámci strojního vybavení firmy Linaset, a.s.

Jak lze vidět z (Obr. 39.) hlavními body kontroly a řešení plastové součásti bude odlehčení vnitřního zaobleného výstupku, konstrukční řešení záskočkového spoje a vylamovacích otvorů pro kabeláž v horní části součásti. Celý díl je transparentní, proto většíma ploch je brána jako pohledové.

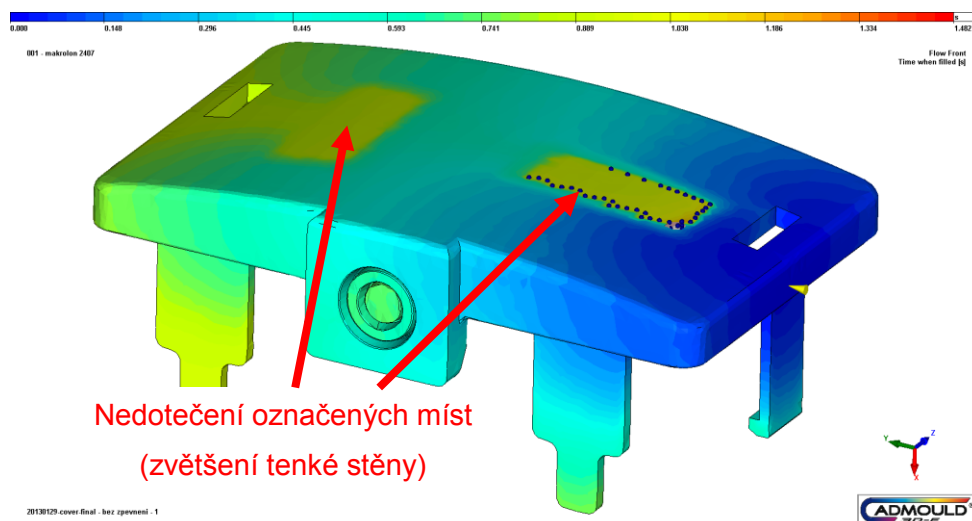
Součást se vyrábí pro elektrotechnický průmysl a slouží k zakrytí elektroinstalace. V průběhu projektu byly upřesňovány informace použití, zatížení a postupně schvalovány funkční a lisotechnické konstrukční úpravy.



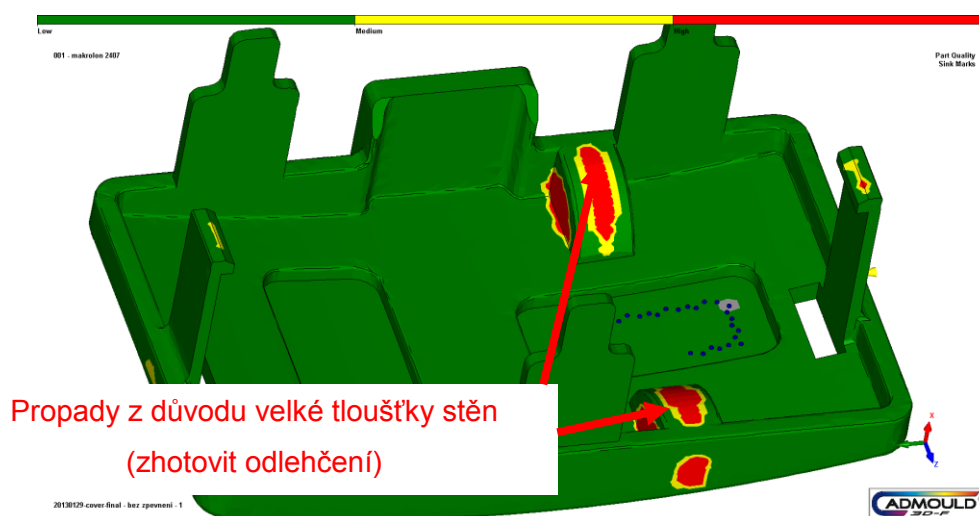
Obr. 39. – Zadaná plastová součást

5.1 ANALÝZY VSTŘIKOVÁNÍ

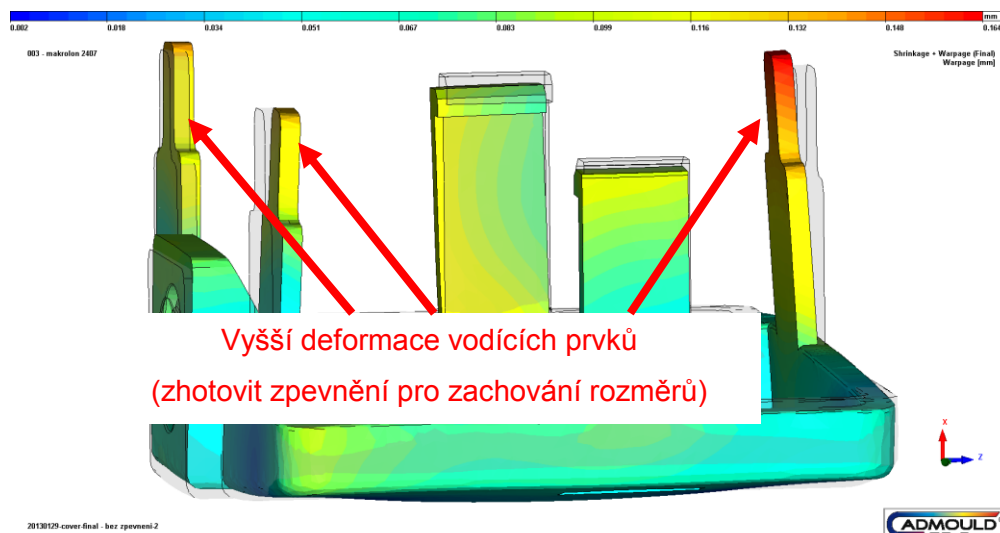
Při první analýze vstřikování jsem se zaměřil na vhodnou předběžnou polohu místa vtoku, která bude nejlépe korespondovat s lisotechnickými zásadami a násobností formy. Postupně byly vypracovány tři analýzy vstřikování. První analýza v příloze č.2. odhalila nedotečená místa a propady v místech nahromadění materiálu. Druhá analýza v příloze č.3. se prováděla po konstrukčních úpravách a odhalila deformace vodících prvků, které bylo třeba odstranit. Třetí kontrolní analýza v příloze č.4. po provedených konstrukčních úpravách ukázala místa uzavření vzduchu, kde je potřeba počítat s odvzdušněním, místa předformování tvarové dutiny a mírné odstranění deformace vodících prvků o 0,05[mm]. Na následujících obrázcích je popsán typ problému vyplývající z analýzy a jejich řešení.



Obr. 40. - Analýza plnění

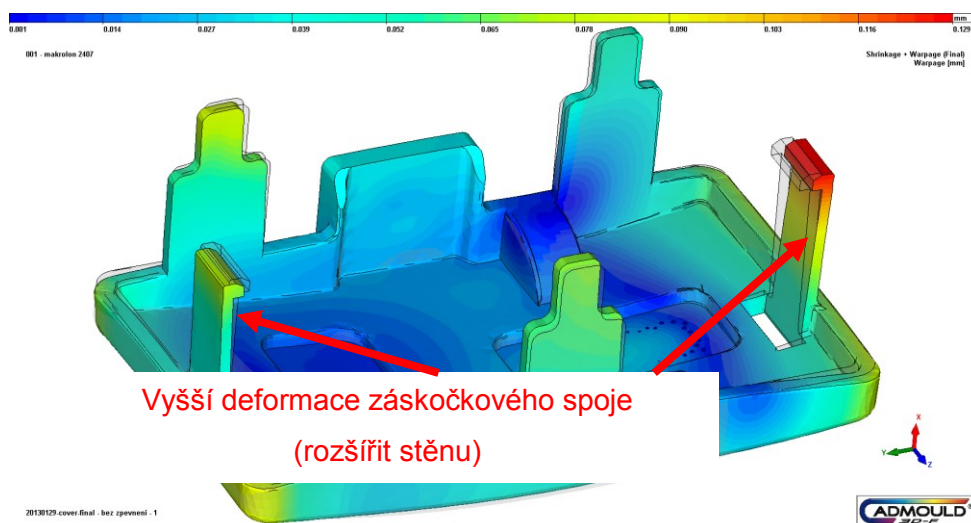


Obr. 41. – Propady



Obr. 42. – Deformace vedení

Z (Obr. 43.) vidíme že záskočkový prvek se vlivem tenčí stěny deformuje a proto jsem stěnu rozšířil na rozměr 1,5[mm] z důvodu konstantnější tloušťky stěn výstřiku a eliminace možné deformace.



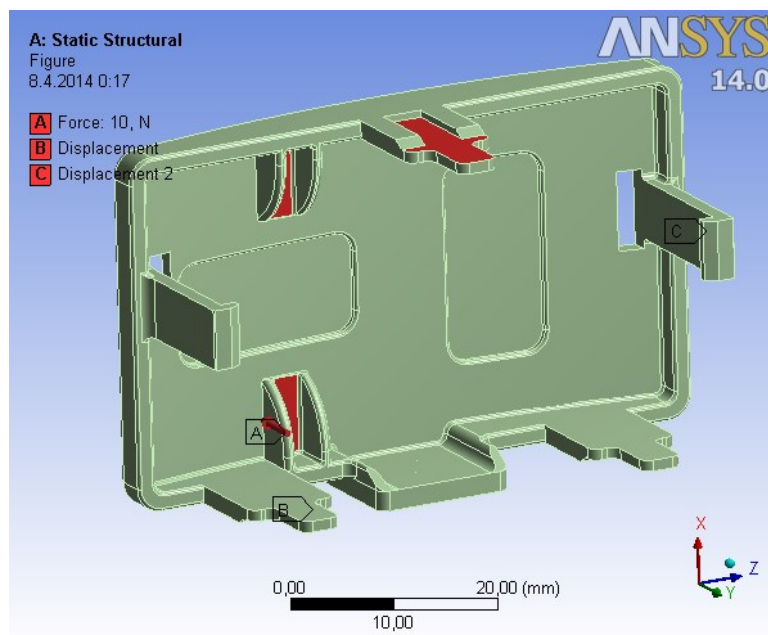
Obr. 43. - Deformace záskočkového spoje

5.2 FUNKČNÍ KONSTRUKČNÍ ÚPRAVY

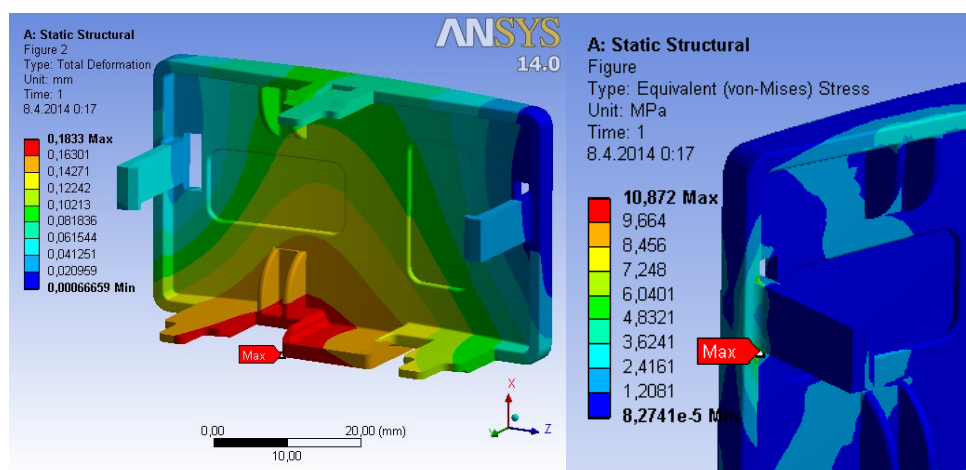
Po schválení lisotechnických úprav zadavatelem bylo třeba vhodně nadimenzovat vylamovací otvory pro kabeláž a záskočkové spoje.

Maximální zatížení záskočkových spojů bylo dimenzováno na sílu 10[N]. Tato síla byla zadána aplikací dvou pružin v místech odlehčení dle (Obr. 41). Důvodem použití bylo odstranění možných rezonancí součástí při aplikaci na pohyblivých částech strojů.

Kontrola součásti byla provedena v programu ANSYS, statickou analýzou MKP. Potřebné vlastnosti materiálu byly převzaty z přílohy č.1.- materiálového listu. Kompletní výpočtová zpráva je uvedena v příloze č.5. a výsledky jsou zobrazeny na (Obr. 44. a Obr. 45.). Z výsledků plyne že záskočkový spoj je značně předimenzován volbou silnější stěny pro omezení deformace. Maximální vypočtené redukované napětí $\sigma_{red\ MAX} = 11[\text{MPa}]$ a maximální deformace $y_{MAX} = 0,18[\text{mm}]$. Mez kluzu materiálu $Re = 66[\text{MPa}]$ to znamená, že konstrukce dostatečně vyhovuje požadavkům zákazníka.

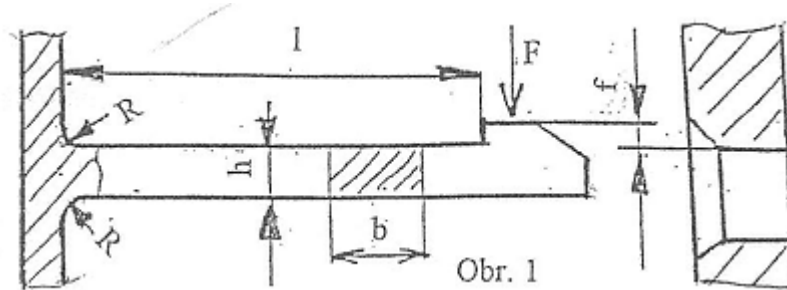


Obr. 44. – Záskočkový spoj – okrajové podmínky



Obr. 45. – Záskočkový spoj – max. deformace a max. napětí dle hypotézy HMM

Další důležitou součástí návrhu zaskočkového spoje je kontrola dovoleného průhybu zaskočky tak, aby byla umožněna montáž, demontáž součástí a nedošlo k ulomení prvku. Výpočtový vztah a postup volím dle Lit.9., hodnoty pro výpočet z přílohy č.1. a rozměry dle 3D dat.



Obr. 46. - Rozměry pro průhyb záskočky [9]

Dovolený průhyb:

$$f_D = 0,67 \frac{\varepsilon \cdot l_{zas}^2}{h} = 0,67 \frac{6 \cdot 100 \cdot 12^2}{1,5} = 3,86 [\text{mm}] \quad (5.1)$$

Kde:

- f_D [mm] – dovolený průhyb
- $f = 1,5$ [mm] – požadovaný min. průhyb
- $\varepsilon = 6$ [%] – poměrné prodloužení PC MAKROLON 2407
- $l_{zas} = 12$ [mm] – volná délka záskočky (dle 3D dat)
- $h = 1,5$ [mm] – tloušťka stěny záskočky (dle 3D dat)

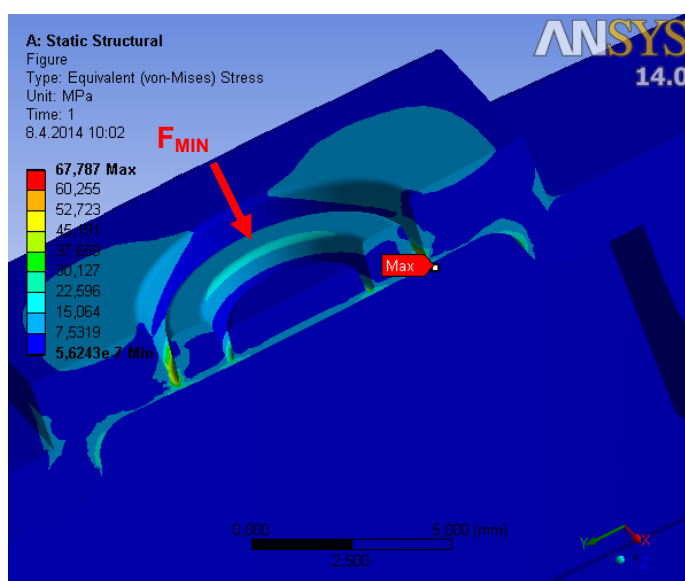
$$f_D > f$$

$$3,86 > 1,5$$

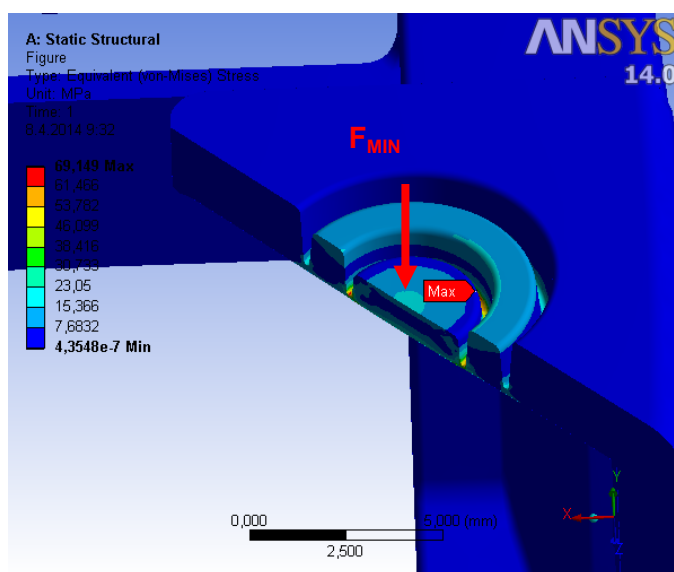
-podmínka je splněna

Problematickými prvky na součásti jak z hlediska vstřikování tak konstrukce jsou vylamovací otvory, které se mají dimenzovat tak, aby při odlišném zatížení bylo možno vyjmout jednotlivou záslepku otvoru. Je třeba zdůraznit, že rozměry se po zaformování změny a při zkoušení formy by se tento prvek mohl opět rozměrově měnit z důvodu špatného zatékání zúženou stěnou.

Kontrola součásti byla provedena v programu ANSYS, statickou analýzou MKP. Potřebné vlastnosti materiálu byly převzaty z přílohy č.1.- materiálového listu. Kompletní výpočtové zprávy jsou uvedeny v příloze č.6. a 7. Z výsledků analýz plyne, že vnější prstenec musí být zatížen statickou silou $F_{\text{MIN}} = 70$ [N] a na vnitřní prstenec musí působit síla $F_{\text{MIN}} = 30$ [N] tak, aby materiál překročil mez kluzu $R_e = 66$ [MPa].



Obr. 47. – Napětí na vnějším vylamovacím otvoru Ø 7 [mm]

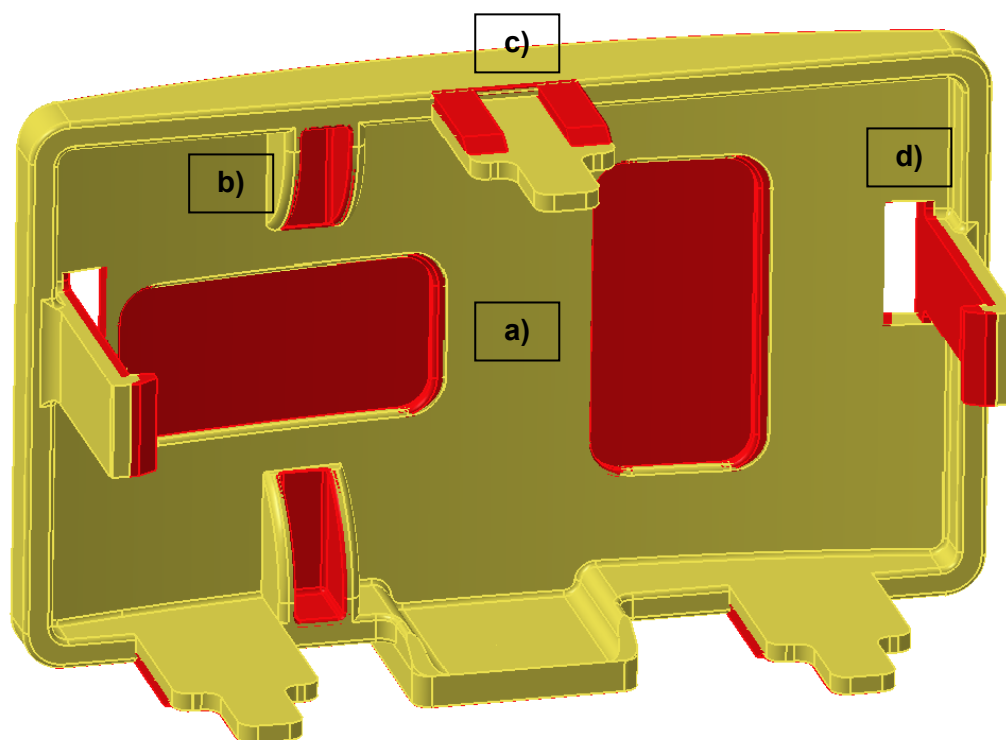


Obr. 48. – Napětí na vnitřním vylamovacím otvoru Ø 4 [mm]

V případě sériového vylamování by bylo vhodné řešit tento problém stříháním pomocí přesných přípravků, které zaručí minimální riziko poškození křehké součásti z polykarbonátu. Nebo případnou změnu konstrukce pro snadnější odstranění těchto otvorů. Proto byla v dalším návrhu použita výměnná tvarová vložka pro ekonomičtější a snadnější změnu konstrukčního návrhu po odzkoušení součásti v praxi.

5.3 KONSTRUKČNÍ ÚPRAVY DLE ANALÝZ

Po zjištění problému v konstrukci bylo třeba vhodně lisotechnicky a funkčně dimenzovat součást tak aby při finální CADMOULD analýze byly na základě komunikace a spolupráce se zákazníkem odstraněny všechny zásadní chyby v návrhu. Finální součást zobrazena na (Obr. 49.) červeně vyznačuje upravené prvky. Zároveň se takto upravená součást používala pro konečné MKP výpočty.



Obr. 49. - Schválená plastová součást

- a) zvětšení tloušťky stěny vnitřních okýnek,
- b) odlehčení vnitřního tvaru žebrováním,
- c) zpevnění vodících prvků plynulým přechodem tloušťky stěny,
- d) rozšíření stěny záskočkového spoje pro odstranění deformace

6 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ VSTŘIKOVACÍ FORMY

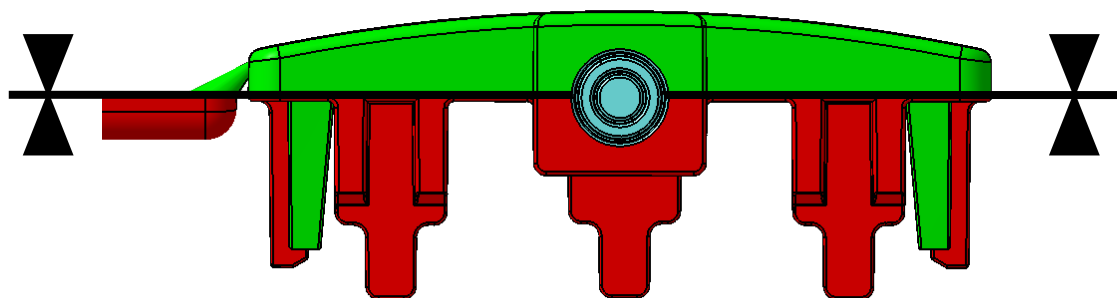
Při návrhu vstřikovací formy jsem postupoval metodicky dle (kap. 2.4.1.) a v souladu s vnitřními předpisy firmy Linaset, a.s. a jejich DFMEA analýzami, které zachycují nejčastější chyby v návrhu výstřiku a nástroje. Návrh v praxi neovlivňuje pouze konstruktér, ale spolupracuje s marketingem, který určuje cenové kalkulace, dodržení rozpočtu a také se zákazníkem, který má rozhodující slovo v každém kroku konstrukce. V práci se zaměřím jen na nejdůležitější části vstřikovací formy a jejího zakomponování na vstřikovací lis. Kompletní sestava formy se nachází na přiloženém datovém nosiči.

Jsou konektory vhodně umístěny na nástroji? (na horní hraně LN)	OK	-	
Mohou být zástrčky připojovány bez problémů?	OK	-	
Jsou kabelové kanály dostatečně velké a zakryté i pod izolační deskou?	OK	-	
Jsou kabelové kanály dostatečně zaobleny ať nedojde k poškození izolace?	NOK	Czakan Petr	Doplnit zaoblení a sražení hran

Obr. 50. - DFMEA analýza

6.1 ZAFORMOVÁNÍ

Prvním krokem k tvorbě tvarových dutin je návrh dělicích rovin tak, aby výstřik byl jednoduše vyjmutelný a zároveň musí být dělicí plochy co nejjednodušeji výrobitelné. Na (Obr. 51.) jde přehledně vidět rozdělení na pevnou (zelená) a pohyblivou (červená) polovinu a vedlejší dělení (modrá) s nutností vyformování v odlišné rovině pomocí čelisti.

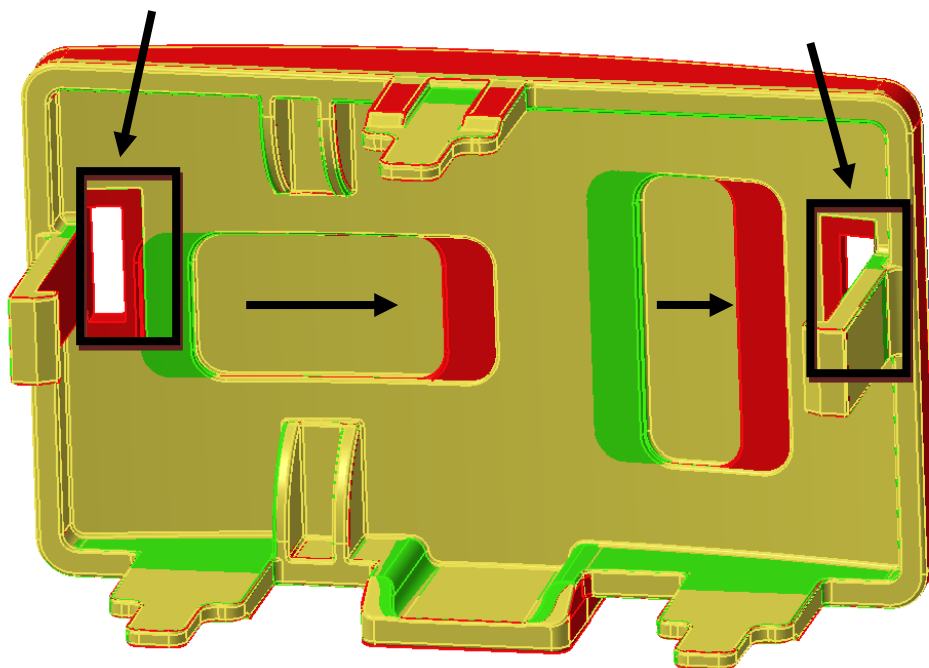


Obr. 51. - Dělicí rovina

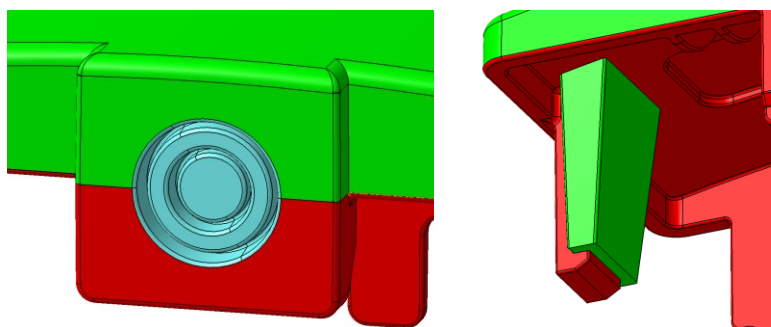
Do návrhu dělení je zakomponován tunelový vtok na pevné polovině dimenzovaný z předchozích CADMOULD analýz a také je zohledněna požadovaná násobnost formy (1+1) v podobě druhé dutiny, která je otočena o 180 [°] pro nejvýhodnější napojení na vtokový systém.(Obr. 56.)

Úkosování součásti, tedy nutné konstrukční úpravy pro snadné vyjmutí z dutiny formy byl zvolen úhel $0,5^\circ$, který je doporučován jako minimální pro leštěnou plochu. [3]

V návrhu dělicích rovin pro záskočkový spoj (Obr. 53) ovšem nebyl dodržen požadovaný minimální úhel dělicích ploch 5° . Proto bylo nutno upravit velikost průchozích děr a posunout vnitřní okýnka dle kompozice na součásti viz.(Obr. 52.). Červená barva na obrázku značí úběr materiálu a zelená naopak přidání. Po této úpravě bylo možno zaručit bezpečné odformování a vyjmutí výstřiku. Zároveň se tímto posledním krokem ukončily úpravy 3D dat pro tvorbu tvarových dutin a model součásti se zvětšil o $0,5\%$ z důvodu objemového smrštění při chladnutí výstřiku (dle Materiálového listu). Postup úprav na součásti je možno zkontrolovat na přiloženém datovém nosiči a výsledná součást a její požadované tolerance jsou uvedeny ve výkresové dokumentaci (BIL246V0000-COVER_BIL246_FINAL).



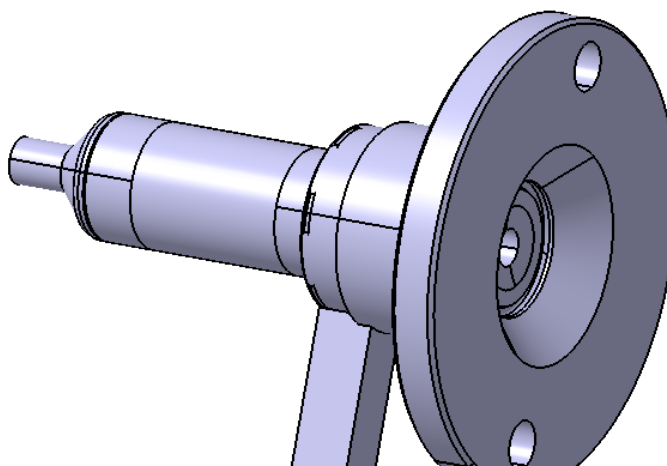
Obr. 52. - Konstrukční úpravy pro dělení



Obr. 53. - Dělicí rovina záskočkového spoje a tvarové čelisti

6.2 VTOKOVÁ SOUSTAVA

Hybridní vtokový systém, který byl zadán pro tuto aplikaci se skládá z jedné horké trysky (TYP: 09S080-K01T) dodávané firmou SYNVENTIVE^[14] na míru dle požadavků na výstřik a vstřikovací formu. Horká tryska je osazena vnějším vytápěním, $P = 170$ [W] na výstupu a $P = 500$ [W] na vstupu taveniny do trysky. Tryska je konstruována jako otevřená bez rozvodných bloků z důvodu použití studeného rozvodu, který ústí do konkrétních tvarových dutin.



Obr. 54. - Horká tryska (SYNVENTIVE)

Odsazení horké trysky od tvarových částí bylo nutno vypočítat ze vztahu pro teplotní roztažnost.^[15] V opačném případě by došlo k poškození trysky při uzavírání formy.

Odsazení horké trysky z teplotní roztažnosti:

$$\Delta l = \alpha \cdot l_0 \cdot (t_1 - t_2) = 11,5 \cdot 10^{-6} \cdot 120 \cdot (300 - 90) = 0,29 [\text{mm}] \quad (6.1)$$

Kde:

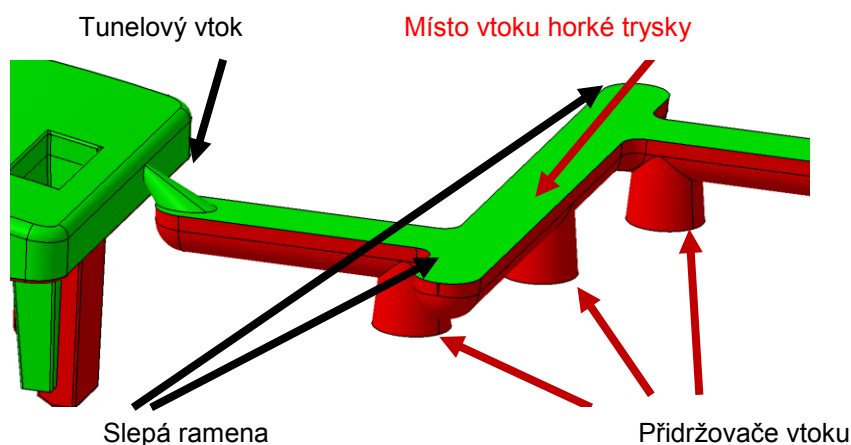
- Δl [mm] – délková změna horké trysky
- $\alpha = 11,5 \cdot 10^{-6} [\text{K}^{-1}]$ – součinitel délkové roztažnosti pro ocel [3]
- $l_0 = 120$ [mm] – délka zabudování horké trysky
- $t_1 = 300$ [°C] – maximální teplota horké trysky (dle CADMOULD)
- $t_2 = 90$ [°C] – minimální teplota pevné poloviny formy (dle CADMOULD)

Z důvodu bezpečnostní rozměrové rezervy volím odsazení **0,4 [mm]**.

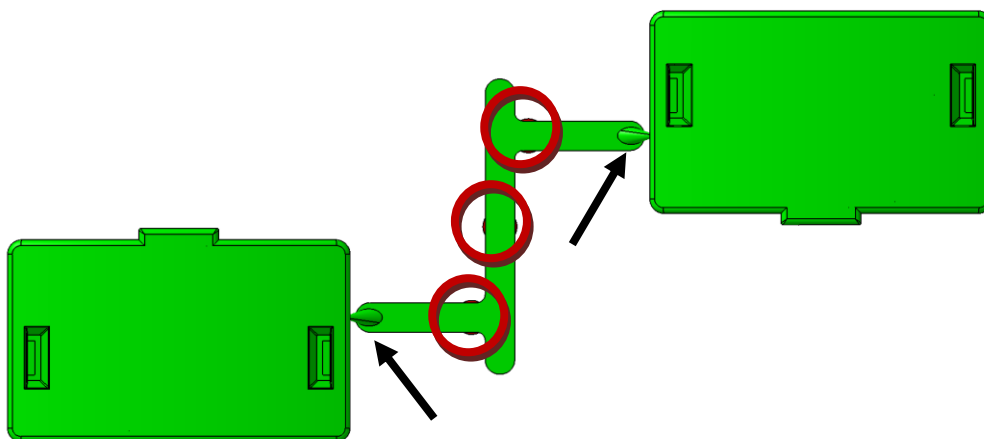
Studený vtokový systém je základně popsán v předchozí kapitole kdy došlo k jeho zaformování tak že tunelový vtok se nachází na pevné polovině formy a při rozevírání nástroje se tunelový vtok odtrhne od výstřiku. Při odtrhávání jsou nezbytné přídržovače vtoků, které zajistí dostatečné prohnutí při odstřihnutí a zároveň drží celý systém na pohyblivé polovině formy.

Pro konstrukci rozváděcího kanálu jsem zvolil zakulacený lichoběžníkový tvar se slepými rameny, které zachycují případné nečistoty v tavenině. Přídržovače vtoků jsou konstruovány s negativním úkosem 10 [°] vzhledem k odformování výstřiku pro spolehlivé přidržení celého vtokového systému.

Hmotnost studené vtokové soustavy musí současně plnit požadavek, aby hmotnost nebyla vyšší než 20 [%] hmotnosti výrobků. Podmínku splňuje tím, že vtok má hmotnost 15 [%] výstřiku. V opačném případě by odpad při vstřikování byl příliš velký.



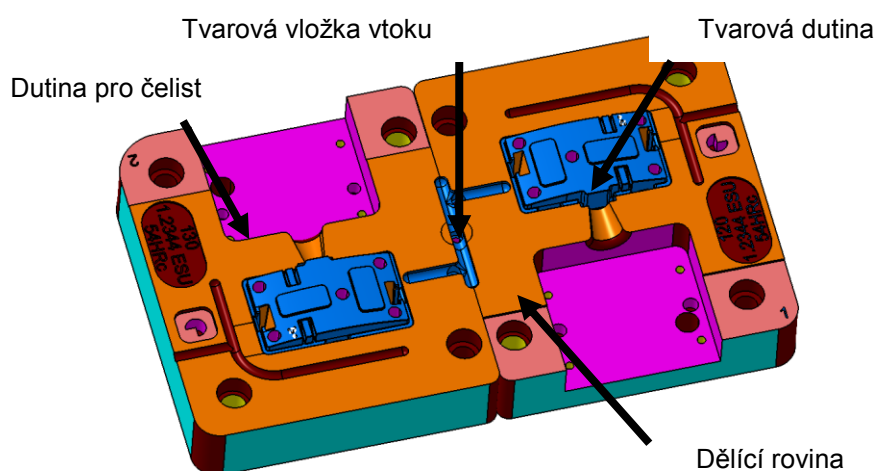
Obr. 55. - Vtokový systém



Obr. 56. - Vtokový systém (rozložení dutin)

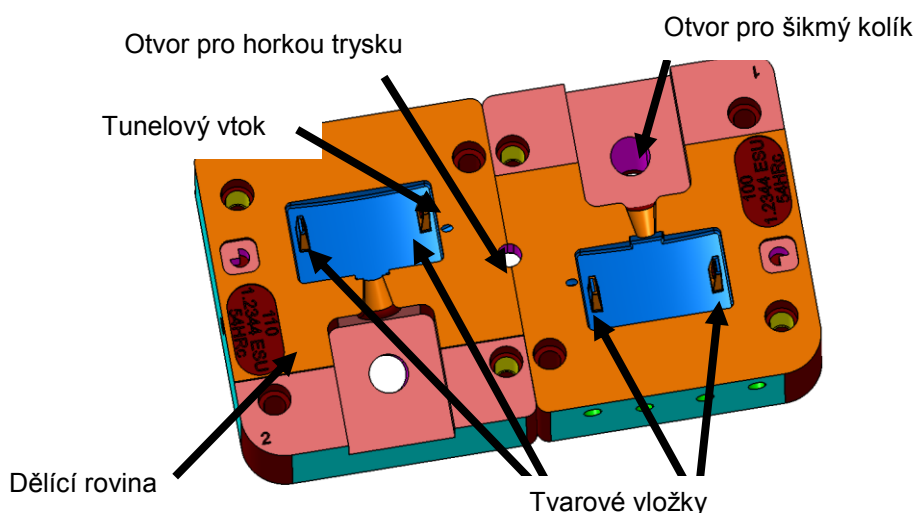
6.3 TVAROVÉ DUTINY

Před návrhem tvarových dutin a desek formy je nutno rozpracovat základní rozvržení velikosti dělicí roviny, desek formy a zástavbové výšky dle vstř. stroje. Základní velikost desek se volí dle zkušeností a předpokládané velikosti vodících prvků. (cca. 100 [mm] od tvarové dutiny) Tvarové vložky vznikly jako negativ součástí po rozdělení a odečtení modelu od pevné a pohyblivé poloviny. Na (Obr. 57.) vidíme kompletní vtokový systém a dutinu formy (modrá) a zřetelnou dělicí rovinu (oranžová). V návrhu je již počítáno s umístěním pohyblivé tvarové čelisti. Z důvodu lepší manipulace byl tvárník a tvárnice rozdělén na dva samostatné kusy, které nejsou vzájemně zaměnitelné.



Obr. 57. - Pohyblivá polovina (tvárník)

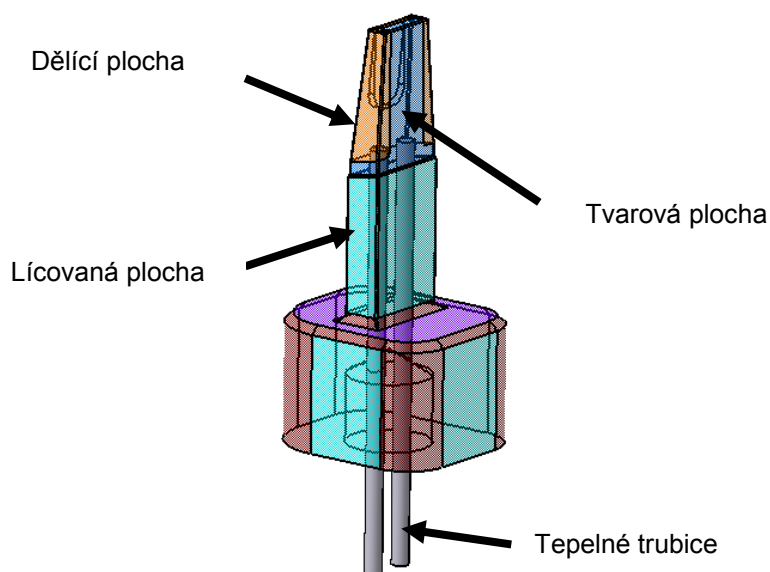
V pevné polovině formy jsou zřetelně vidět použité nezaměnitelné pevné tvarové vložky pro záskočkový spoj, tunelový vtok, otvor pro šikmý kolík pohyblivé tvarové čelisti a otvor pro budoucí zabudování horké trysky.



Obr. 58. - Pevná polovina (tvárnice)

6.4 PEVNÉ TVAROVÉ VLOŽKY

Pevné tvarové vložky jsou použity pro odformování záskočkového spoje, umístění lze vidět na (Obr. 58.). Jsou konstruovány samostatně a nezaměnitelně z důvodu snadnější výroby, s přihlédnutím na možné vyšší opotřebení dělicích ploch. Současně je nutno tuto část samostatně chladit a proto jsou vložky osazeny tepelnými trubicemi HASCO Z975/2x50.^[16] Zabudování je navrženo dle výrobce a výpočet zahrnut v CADMOULD analýze chlazení v příloze č. 8. a 9.



Obr. 59. - Pevná tvarová vložka

6.5 POHYBLIVÉ TVAROVÉ ČELISTI

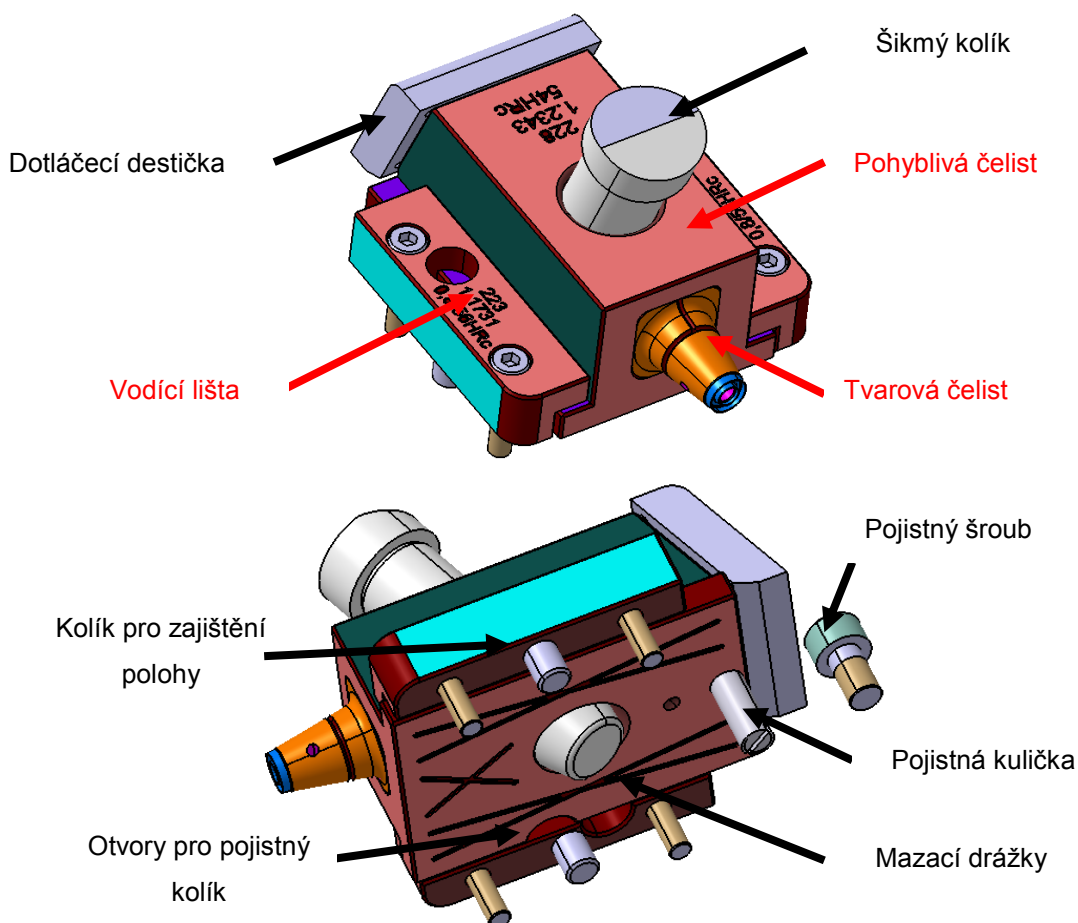
Pro odformování tvarové části v odlišné rovině (Obr. 53.) jsem zvolil pohyblivou tvarovou čelist. Všechny potřebné součásti pro pohyb a zajištění čelisti jsou zobrazeny na (Obr. 60.). Čelist je kluzně vedena ve dvou vodících lištách s mazacími drážkami. Poloha je zajištěna kolíky o průměru 5 a 6 [mm] a šrouby M4x18. Spodní část je vedena z větší části po kaleném tvárníku a proto nebylo nutné využít kluznou desku.

Pohyb čelisti je zajištěn šikmým kolíkem HASCO^[17], který je zapuštěn ve tvárnici proto, aby se co nejvíce snížila jeho potřebná výška a zjednodušila montáž a demontáž tvárnice. Polohu při vstřikování udržuje dotlačecí destička umístěná v desce tvárnice.

Zajištění polohy při vstřiku a vyjetí čelisti bezpečně zajistí šroubovaná pojistná kulička HASCO Z371/6x14^[18]. Je důležitým prvkem, který drží polohu čelisti v otevřené poloze formy před vyjetím vyhazovačů. Jako pojistka před samovolným vyjetím a poškozením čelisti je pojistný šroub na konci dráhy čelisti.

Tvarová čelist je v pohyblivé čelisti zajištěná uložením s přesahem a šroubovým spojem. Z důvodu problematického tvaru na součásti bylo nutno zvolit verzi s jednoduše odnímatelnou vložkou a tím zjednodušit výrobu při změnách nebo úpravách.

Nutno zmínit že tvarová čelist se nachází nad vyhazovačem, kterým se budu věnovat v další kapitole. Z toho důvodu je nutno zajistit, aby se čelist nenacházela při vyhazování nad vyhazovačem a proto je do čelisti a vyhazovací lišty vrtán otvor pro pojistný kolík.



Obr. 60. - Pohyblivá tvarová čelist

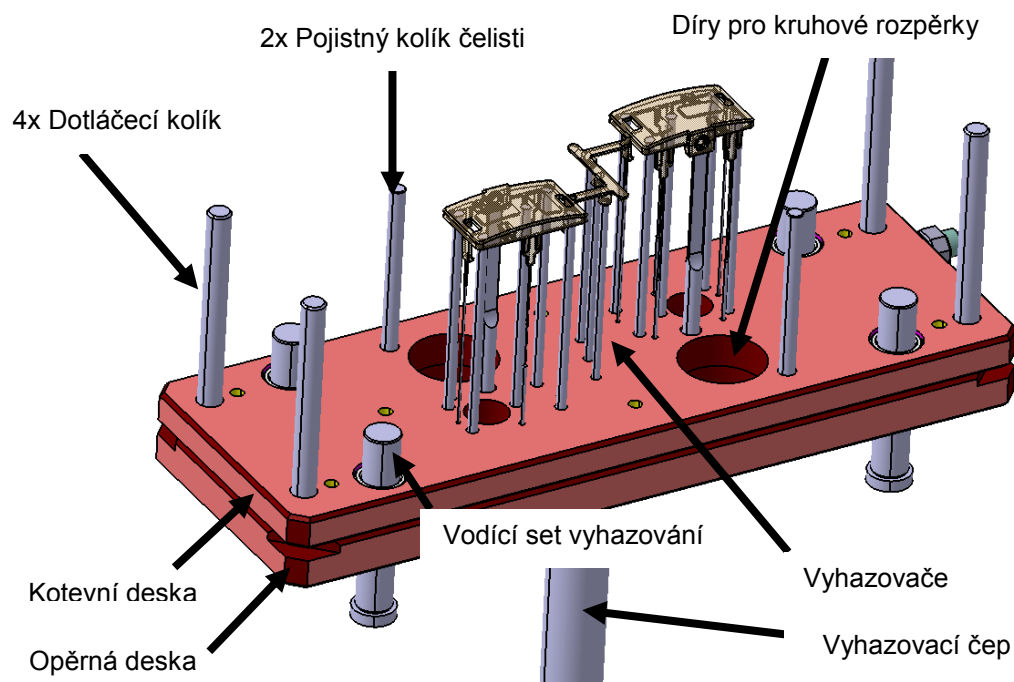
6.6 MECHANICKÝ VYHAZOVAČÍ SYSTÉM

Vyhazovače jsou vedeny ve tvárníku v uložení H7/g6 po délce 10 [mm] a v desce tvárníku volně, jsou upnutu v kotevní desce a podepřeny opěrnou deskou (spodní). Vyhazovací systém má své vedení, které zároveň zajišťuje polohu desek tak aby nemohly být otočeny na nesprávnou tvarovou dutinu.

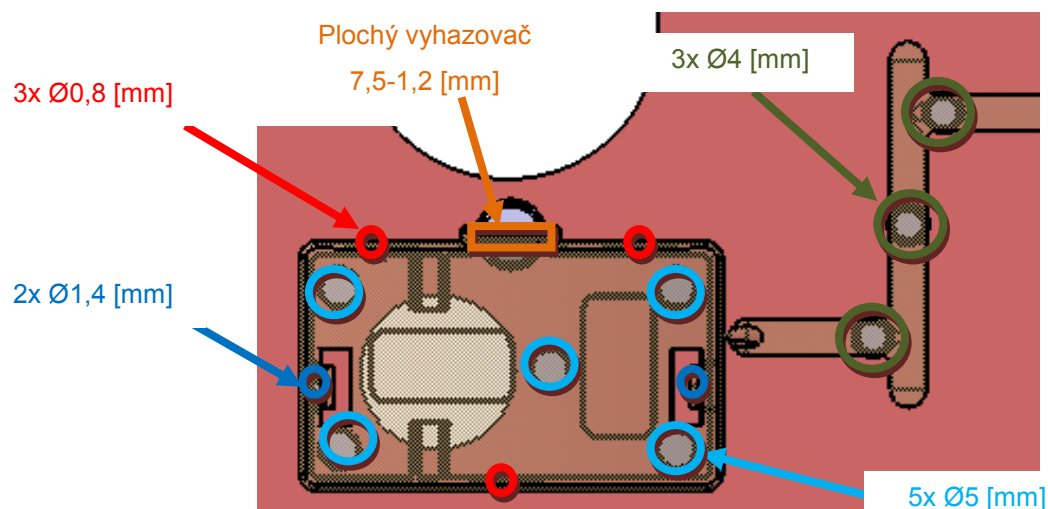
Vyhazovače jsou svou polohou koncipovány pro rovnoměrné vyhození výstřiku a také napomáhají k vysunutí dlouhých žebířů. V mém případě záskočkových spojů a vodících prvků na součásti. Rozložení na výstřiku lze vidět na (Obr. 62.) kde jsou popsány také

velikosti a tvar vyhazovačů. Značení vyhazovačů a typ zabudování v kotevní desce je zobrazen na (Obr. 63.), toto zabudování umožňuje omezený pohyb vyhazovače.

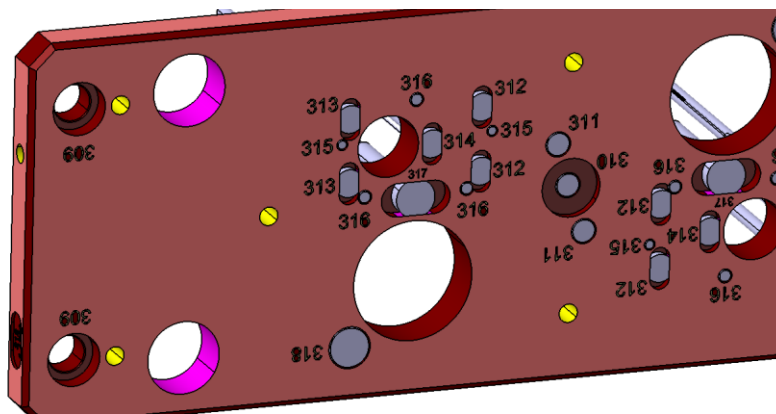
Důležité součásti vyhazovacího systému popisuje (Obr. 61.). Vyhazovací čep, který zajišťuje spojení mezi vyhazovacím systémem formy a vstřikovacím strojem, respektive se zařízením na uzavírací jednotce stroje, které zajišťuje vyhazování. V předchozí kapitole jsme narazili na jištění pohyblivé tvarové čelisti a to zajišťuje pojistný kolík na okraji kotevní desky. Dotlačecí kolík v koncepci vyhazovacího systému slouží jako pojistka v případě že při uzavírání formy nebude vyhazovací systém v koncové poloze. V obou případech pojistného a dotlačecího kolíku se jedná o klasický vyhazovač s volným vedením.



Obr. 61. - Vyhazovací systém



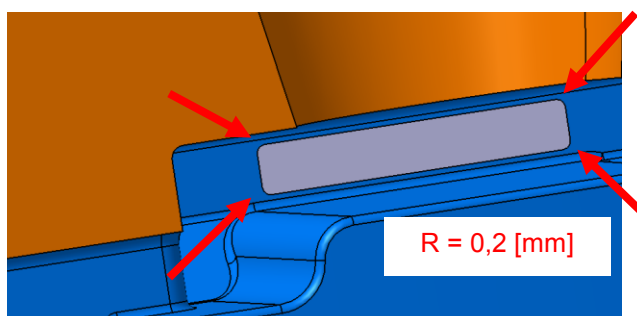
Obr. 62. - Rozložení vyhazovačů na výstřiku



Obr. 63. - Značení kotevní desky a zabudování vyhadzovačů

Běžné ploché vyhadzovače se vyznačují ostrými rohy. Ovšem při využití ostrých rohů není technologie WEDM-drátového řezání schopna vyrobít ostrý roh a vyhadzovače se proto musí na okrajích srazit. Tímto zásahem mohou vznikat přetoky na výstřiku.

Vyhadzovače výrobce RAINER-KNARR (Příloha č.15.) se vyrábějí se zaoblením vnějších hran vyhadzovačů s rádiusem $R = 0,2$ [mm] a tím se plocha dokonale slícuje.



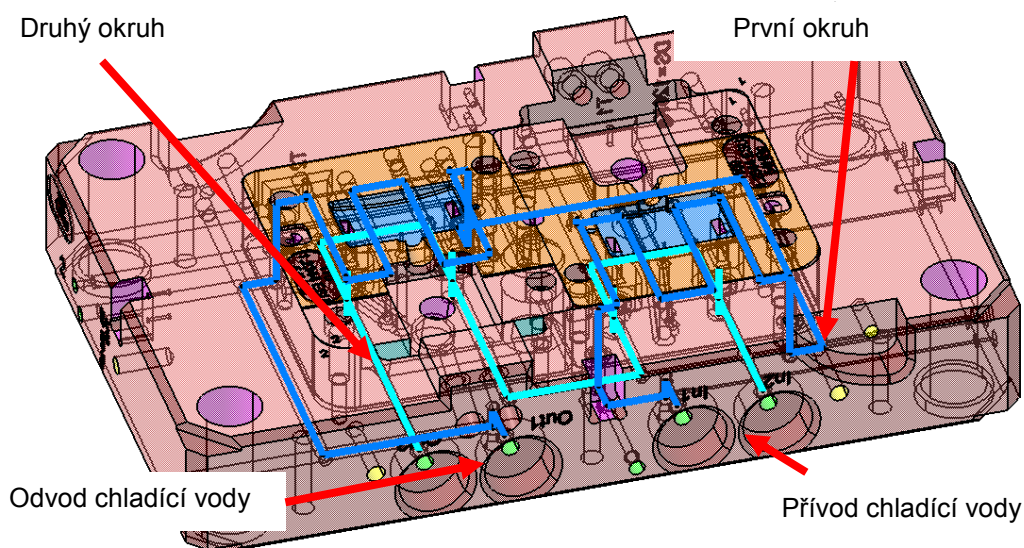
Obr. 64. - Plochý vyhadzovač RAINER-KNARR

6.7 TEMPERAČNÍ SYSTÉM

Temperační systém byl z důvodu malého prostoru kompletně navrtán $\varnothing 6$ [mm] a v návrhu je počítáno s odsazením kanálků od ostatních konstrukčních prvků o 4 [mm]. Těsnění mezi deskami zajišťují o-kroužky z materiálu viton, který se využívá pro svou vyšší tepelnou odolnost. Dlouhé vrtané slepé otvory se zatěsňují pomocí zásepek HASCO Z942 ^[19], ty zaručí, aby prostor za nimi nebyl zbytečně zaplněn vodou. Vyústění vrtaných otvorů je utěsněno zátkami HASCO Z94 ($M8 \times 0,75$) ^[19]. Pro vtok a odvod vody z formy do temperačního systému jsou voleny náustky HASCO Z81 ($M10 \times 1$) ^[19].

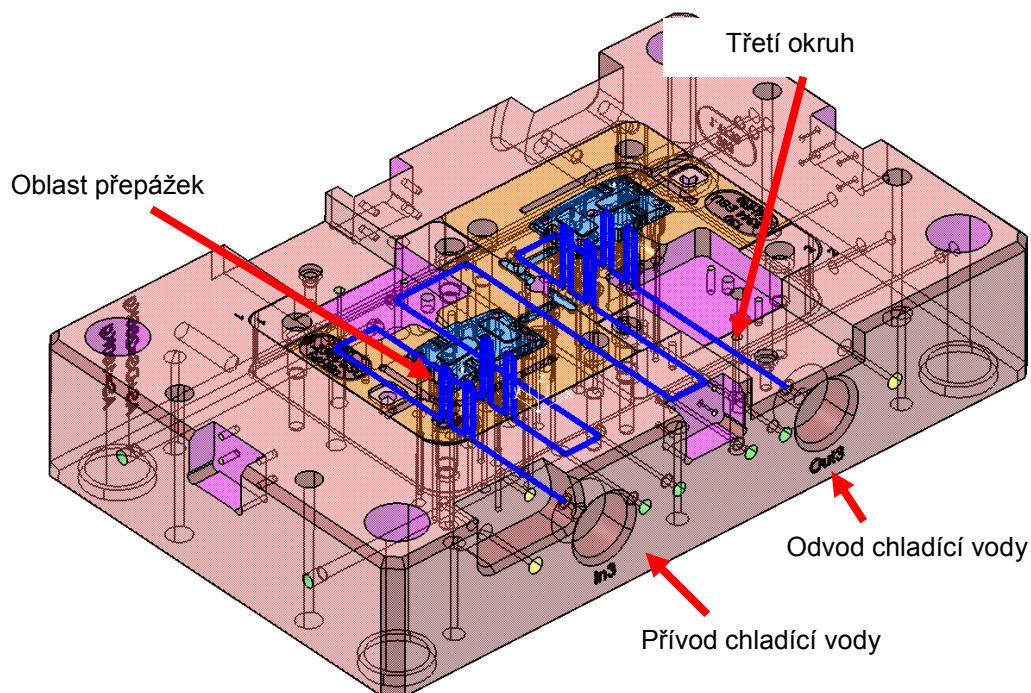
Chlazení formy na pevné polovině bylo rozděleno na dva okruhy. První okruh je koncipován jako sériový, chladí tvárnice a desku tvárnice. Zároveň je tento okruh přiblížen k vtoku horké trysky a chladí její špičku. Z důvodu stísněného prostoru nebylo možno vytvořit separátní okruh, který je pro použití horké trysky zvykem. Druhý okruh slouží

k odvodu tepla z výše zmíněných pevných tvarových vložek osazených tepelnými trubicemi a k odvodu tepla desky tvárnice pod tvarovými dutinami.



Obr. 65. – Chladicí kanálky pevné poloviny formy

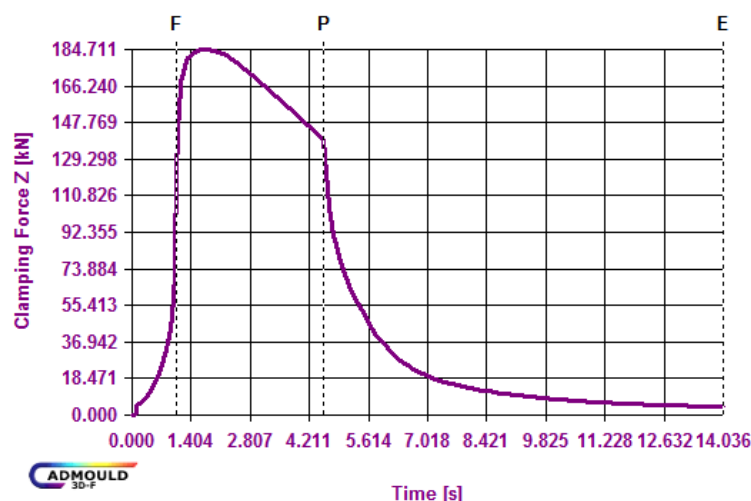
Chlazení pohyblivé poloviny formy tedy třetího okruhu vstřikovací formy je taktéž koncipováno jako sériové. Z důvodu vyššího počtu vyhazovačů nebylo možno výhodně navrtat tvárníky tak, aby nedošlo k případné kolizi. Proto jsem zvolil chlazení pomocí přepážky HASCO Z967 ^[19], která se vloží do vrtaného otvoru a voda jí poté obtéká.



Obr. 66. – Chladicí kanálky pohyblivé poloviny formy

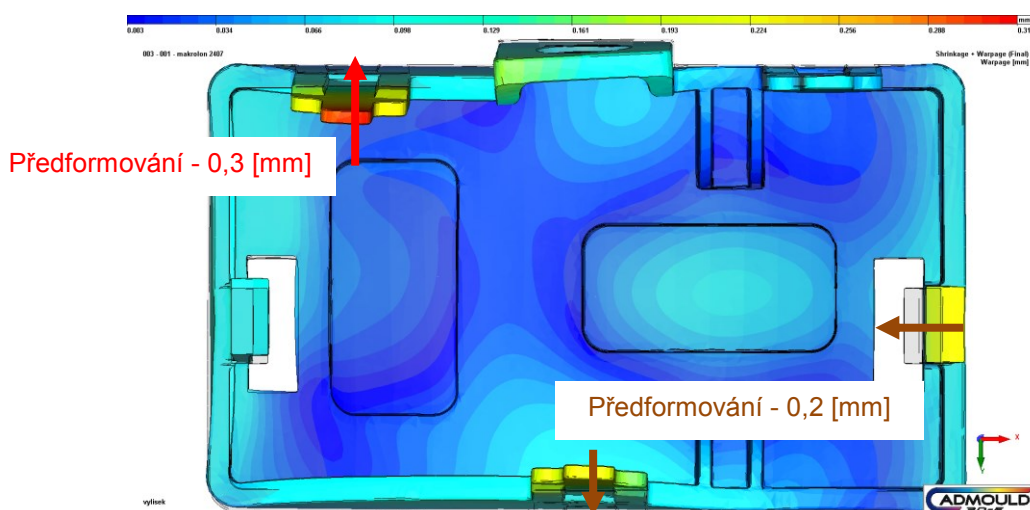
6.7.1 KONTROLNÍ SIMULACE CHLAZENÍ A VSTŘIKOVÁNÍ

Z důvodu kontroly dostatečného dimenzování temperačního systému, případných deformací výstřiků a dodatečných technologických informací jako je potřebná uzavírací síla, vstřikovací tlak apod., se provádí CADMOULD simulace celé vstřikovací formy. Celá analýza je uvedena v příloze č.8., potřebná velikost uzavírací síly a její průběh pro volbu výsledného vstřikovacího stroje je uveden na (Obr. 67.).



Obr. 67. - Uzavírací síla CADMOULD

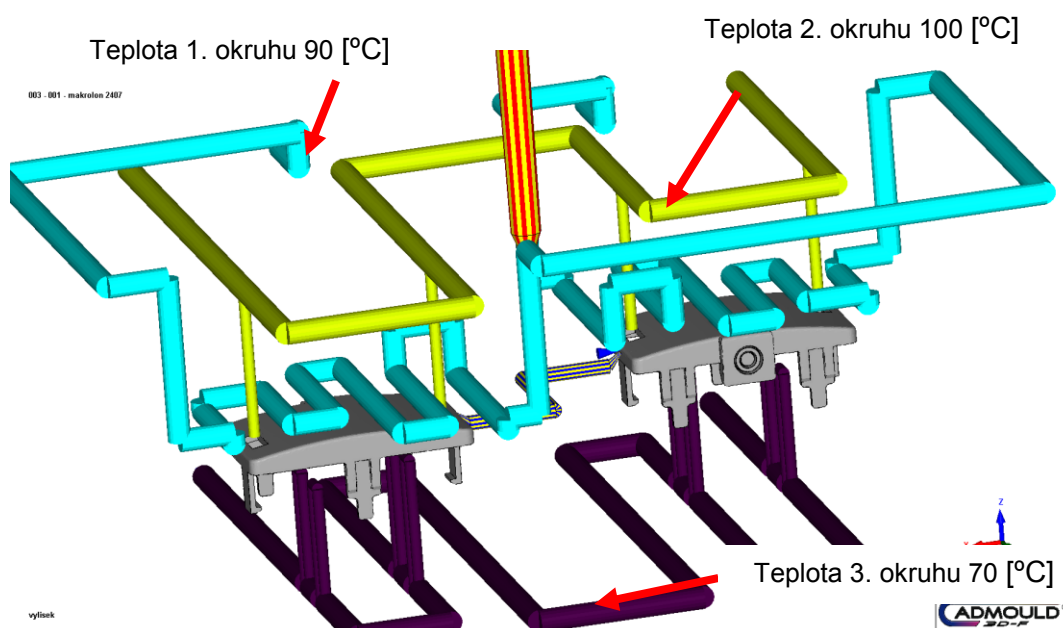
Z výsledků analýzy plyne, že deformace zobrazené na (Obr. 68) bude nutné řešit buď změnou chlazení, která by v tomto případě nedostatku místa znamenala volbu nákladného konformního chlazení nebo předformování tvarové dutiny. Zvolil jsem předformování, které se řešilo pomocí změn úkosových úhlů na problematických místech výstřiku. Při konstrukčních úpravách byl dodržen minimální úkos 0,1 [°], který zaručí alespoň částečně dobré odformování.



Obr. 68. - Deformace výstřiku

Po konstrukčních úpravách se znovu vypočítala kontrolní analýza (Příloha č.9.), která ověřila správnost konstrukčního řešení předformování tak, aby deformace na příslušných prvcích byly stejné jako v předchozí analýze. Výstupem konečné analýzy jsou také příslušné technologické hodnoty:

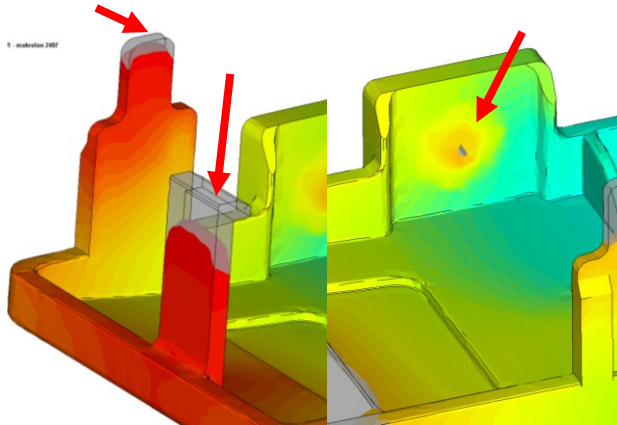
- Diagramy uzavírací síly (Obr. 67.), hmotnosti výstřiku a tlakového průběhu
- Teplota vstřikování 300 [°C]
- Teplota vyhazování 130 [°C]
- Čas plnění tvarových dutin 1[s]
- Čas dotlaku 3,5 [s] a chlazení 9,5 [s]
- Teploty okruhů viz. (Obr. 69.)



Obr. 69. - Analýza chlazení (temperační okruhy)

6.8 ODVZDUŠNĚNÍ

Odvzdušnění a jeho příprava je velice důležitá pro výsledky prvních výpadových kusů. Pokud je špatně zhotoveno nebo nevhodně dimenzováno tak jeho následkem mohou vznikat vady, které je nutno odstranit úpravou nástroje. Tyto následné úpravy ovšem mohou způsobit citelné ekonomické ztráty. Proto je nutno věnovat této problematice dostatek prostoru a počítat s případným odvzdušněním už při samotném zaformování výstřiku. V předchozích CADMOULD analýzách jsou zakomponovány místa potřebného odvzdušnění (záskočky, vodící prvky, vylamovací otvory) a na obrázcích níže jsou zobrazeny a vysvětleny potřebné konstrukční úpravy.



Obr. 70. - Místa určená pro odvzdušnění

Před samotnou tvorbou odvzdušnění je třeba vypočítat dostatečný prostor, který je potřeba pro kvalitní odvedení vzduchu z tvarové dutiny. Pro výpočet jsem využil hodnoty a vzorce využívané v praxi dle lit. [11].

Hmotnost vzduchu na začátku plnění

$$G_1 = V_0 \cdot \gamma = 6,79 \times 10^{-6} \cdot 1,16 = 7,87 \times 10^{-6} [\text{kg}] \quad (6.2)$$

Kde:

- G_1 [kg] – hmotnost vzduchu na začátku plnění
- $V_0 = 6,79 \times 10^{-6} [\text{m}^3]$ – objem dutiny dle 3D dat
- $\gamma = 1,16 [\text{kg/m}^3]$ – měrná hmotnost vzduchu při teplotě 20 [°C] [11]

Teplota stlačeného vzduchu dle polytropy

$$T_1 = T_0 \left(\frac{p_1}{p_0} \right)^{\frac{n-1}{n}} = 293 \left(\frac{20}{0,1} \right)^{\frac{1,15-1}{1,15}} = 586 [\text{K}] \quad (6.3)$$

Kde:

- T_1 [K] – konečná teplota vzduchu ve formě
- T_0 [K] – teplota vzduchu na začátku plnění ($T_0 = 273^\circ + 20^\circ = 293 [\text{K}]$)
- $p_1 = 20 [\text{MPa}]$ – tlak vzduchu na konci plnění hranice nedotečeného výstř. [11]
- $p_0 = 0,1 [\text{MPa}]$ – tlak vzduchu na začátku plnění [11]
- $n = 1,15 [-]$ – exponent polytropy pro vzduch [11]

Průřez odvzdušnění

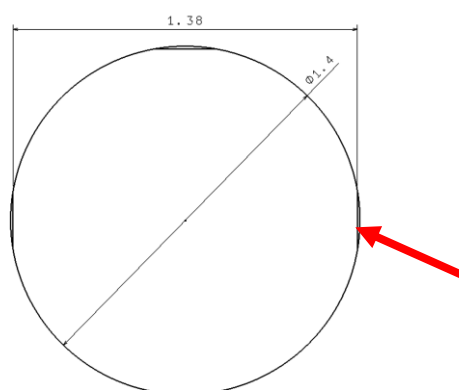
$$S_s = 2,5 \cdot G_1 \frac{\sqrt{T_1}}{p_0 \cdot \tau} = 2,5 \cdot 7,87 \times 10^{-6} \frac{\sqrt{586}}{1 \cdot 10^4 \cdot 1} = 4,76 \times 10^{-8} [\text{m}^2] = 0,048 [\text{mm}^2] \quad (6.4)$$

Kde:

- $S_s [\text{m}^2]$ – průřezová plocha odvzdušňovacích kanálků
- $\tau = 1 [\text{s}]$ – čas plnění tvarové dutiny dle. CADMOULD

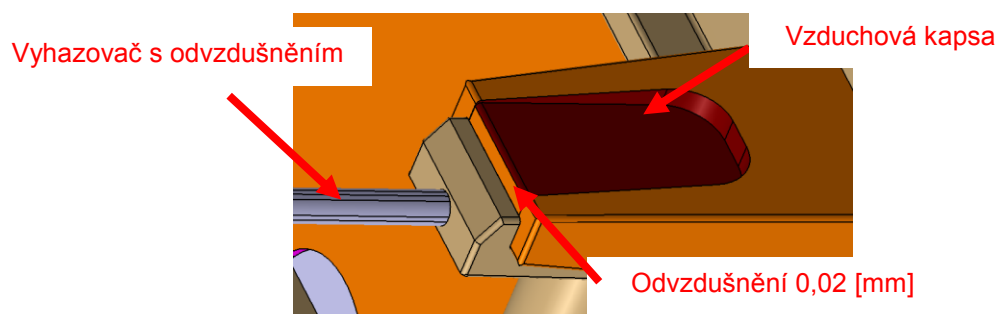
Potřebný průřez odvzdušnění je tedy $0,048 [\text{mm}^2]$ což při použité hloubce odvzdušnění $0,02 [\text{mm}]$, znamená minimální délku $2,4 [\text{mm}]$.

Pro materiál PC je doporučována maximální hloubka odvzdušnění $0,05 [\text{mm}]$ dle [9]. V mém případě jsem zvolil odvzdušnění $0,01 [\text{mm}]$ ze čtyř stran vyhazovače viz (Obr. 71.). Rozměr byl volen v rámci výrobních tolerancí a předpisů. Takto jsou upraveny všechny vyhazovače v hlubokých žebrech výstřiku.



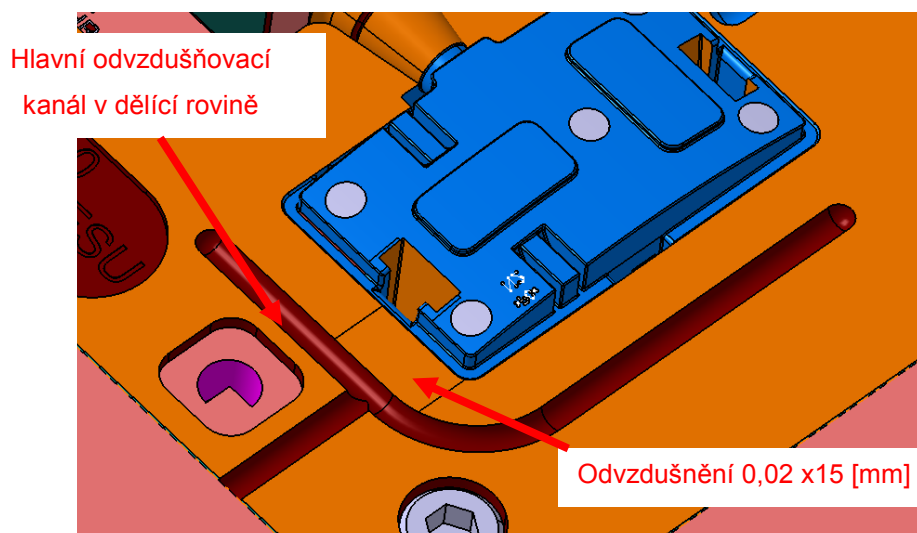
Obr. 71. - Odvzdušnění kruhového vyhazovače

Z důvodu dokonalého zatečení taveniny v záskočkovém spoji jsem zvolil další odvzdušnění pomocí vzduchové kapsy. Odvzdušnění, tedy odsazení od dělicí roviny činí $0,02 [\text{mm}]$ a vzduchová kapsa je dimenzována tak, aby její objem byl větší než záskočka mezi odvzdušněným vyhazovačem a dělicí rovinou.



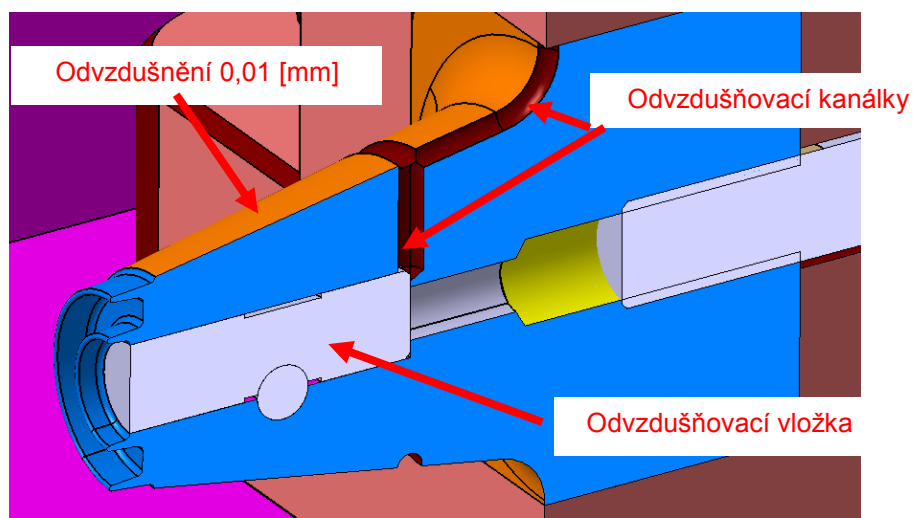
Obr. 72. - Odvzdušnění záskočky

Jako hlavní odvzdušnění tvarové dutiny se vyrábí odvzdušňovací kanál a odvzdušnění v hlavní dělicí rovině. Tvar odvzdušňovacího kanálu obepíná celý tvar a ústí do volného prostoru mimo lisovací nástroj. Poloha odvzdušnění je volena dle CADMOULD analýz a je dostatečně předimenzována vůči výpočtu (6.4). Z důvodu případné další výroby odvzdušnění je tvar kanálu dostatečně velký a je možno zhotovit odvzdušnění na mnoha potřebných místech proti vtokovému ústí.



Obr. 73. - Odvzdušnění v dělicí rovině

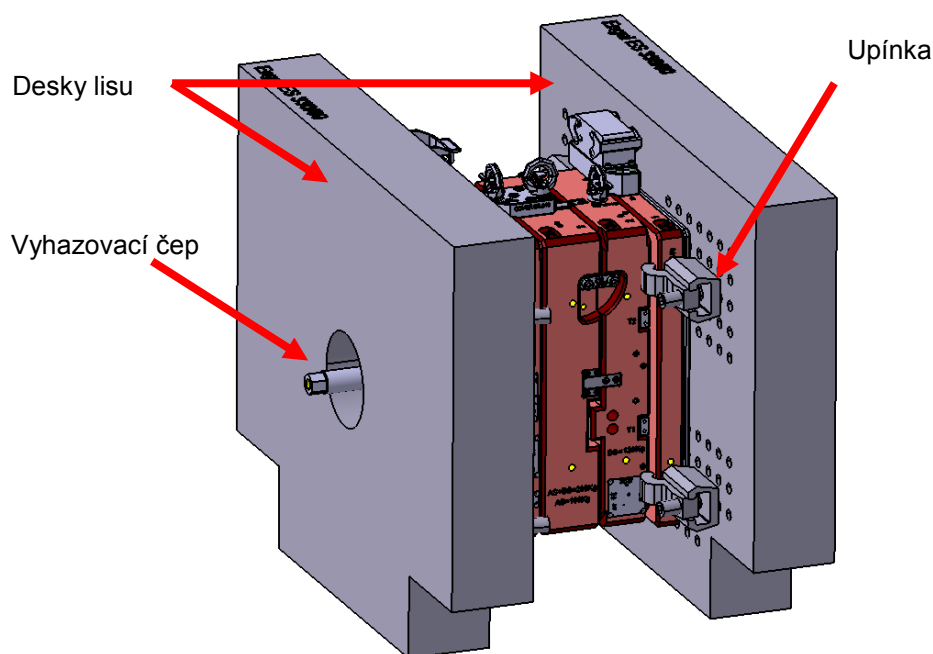
Tvarová čelist jako problematické místo ve tvarové dutině se odvzdušňovala na dvou místech. V kontaktní ploše dělicích rovin a uprostřed vylamovacích otvorů pomocí tvarové odvzdušňovací vložky. Odvzdušnění v dělicí rovině je řešeno pomocí jednoduchého odlehčení po celé ploše a vzduch je odváděn odvzdušňovacími kanálky. Odvzdušňovací vložka je aretována pojistným kolíkem a její řešení je obdobné jako u vyhazovačů.



Obr. 74. - Odvzdušnění vedlejší dělicí roviny

6.9 VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE

Volba vstřikovacího stroje je významným prvkem v konstrukci celého nástroje. Určuje maximální a minimální velikost vstřikovací formy, její středění a uchycení na vstřikovací lis. Zároveň volba stroje určuje maximální rozměr mezi pevnou a pohyblivou polovinou a také napojení mechanického vyhazování. Většinou si zákazník určí vstřikovací stroj dle svého strojního parku. V tomto případě se forma vyrábí za účelem výroby ve firmě Linaset, a.s. Se strojem bylo třeba počítat už v prvopočátku volení jednotlivých desek vstřikovací formy a v návrhu vyhazování. Proto se upínací desky stroje vždy zakomponují do 3D návrhu nástroje a vhodně se zvolí kotvení dle ideálního rozměru desek formy. V mém případě jsem zvolil vstřikovací lis ENGEL 330/80 a kotvení čtyřmi upínkami HASCO Z742 ^[20] na každé desce lisu.



Obr. 75. – Forma na vstřikovacím stroji

Parametry vstřikovacího stroje:

- Max. otevření lisu 700 [mm]
- (Nejmenší rozměr mezi DS a AS při max. otevření lisu 331,5 [mm])
- Min. výška formy 250 [mm] (Vytvořená forma 300,5 [mm])
- Průměry středících kruhů 125 [mm]
- Ideální délka vyhazovacího čepu 160 [mm]

Parametry a vlastnosti stroje určuje mnoho dat. Uvedené data jsou nejdůležitější pro základní návrh vstřikovací formy a její zakomponování na stroj. Nejčastěji dále sledujeme

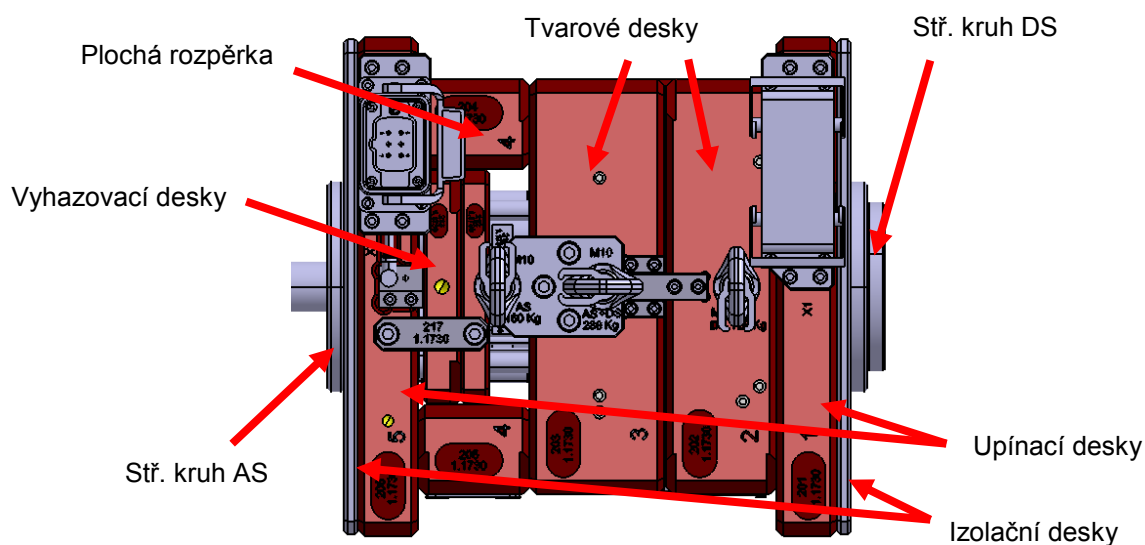
maximální vstřikovací objem, rádius na vstřikovací trysce, hydraulické a elektrické okruhy a v neposlední řadě rozměr mezi sloupky pro montáž nástroje.

6.10 KONSTRUKČNÍ PRVKY FORMY

V této kapitole se zaměřím na zbylé konstrukční prvky vstřikovací formy, které zabezpečují její ustavení na vstřikovací stroj a bezpečnou funkci nástroje.

6.10.1 DESKY VSTŘIKOVACÍ FORMY

Desky vstřikovacích forem jsou při prvotním návrhu vhodně voleny tak, aby zaformování výstřiku byl dostatečný prostor pro dělicí rovinu a pro posuvné tvarové čelisti. Šířka desek se volí dle minimální výšky a tuhosti na daný vstřikovací stroj. Rozdělení desek je patrné z (Obr. 76.), který zobrazuje desky izolační, upínací, vyhazovací a tvarové. Rozměry desek jsou voleny dle katalogu HASCO (396x296 a 396x246 [mm])^[21] a tyto rozměry zároveň sloužily pro vhodný systém upnutí na vstřikovací stroj. Také středící kruhy o průměru 125 [mm] vycházely z volby vstřikovacího stoje.

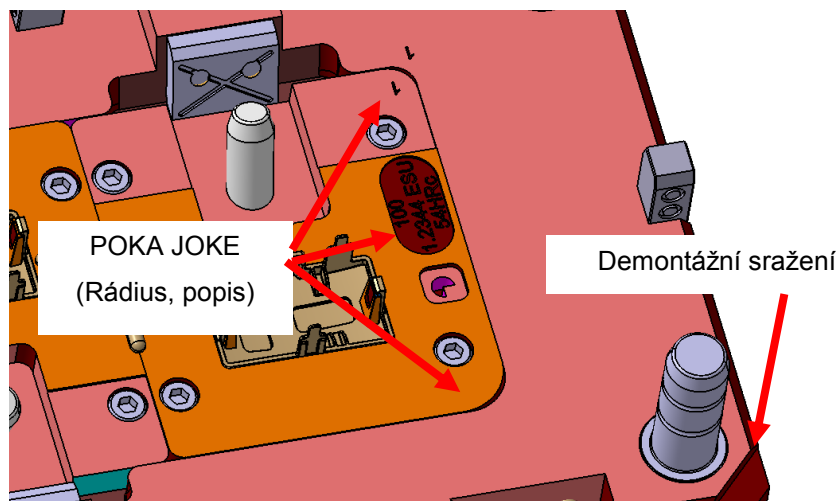


Obr. 76. - Desky vstřikovací formy

V celé konstrukci formy byl kladen důraz na co nejvyšší použití normalizovaných dílů. Pro jednoduchost jsem se soustředil jen na několik výrobců působících na českém trhu. Jako normalizované díly se použily vodící sloupky, pouzdra, dotlačecí kolíky, vyhazovače, náustky, zásuvky, šrouby aj. Všechny díly jsou uvedeny v kusovnících a přehledně rozděleny na vyráběné a nakupované díly. Zároveň v elektronické příloze uvedená 2D a 3D sestava s kompletním zakomponováním na vstřikovací stroj.

6.10.2 POKA JOKE

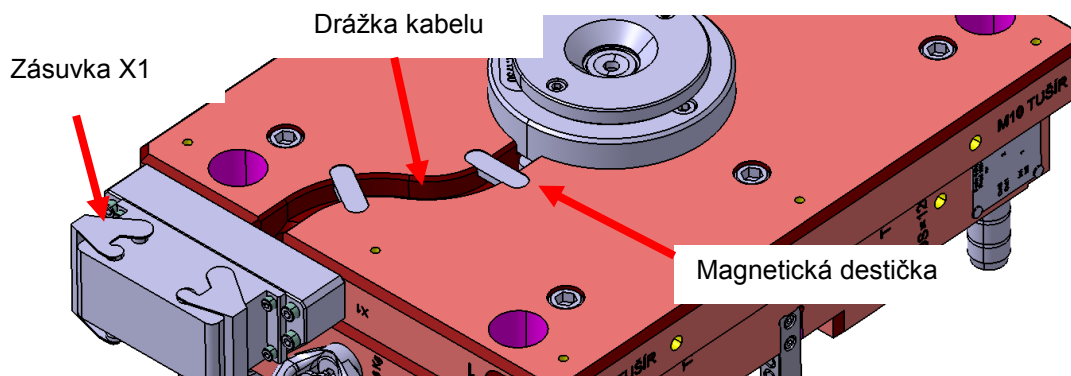
V konstrukci vstřikovacích forem je třeba dbát na nezaměnitelnost tvarových a funkčních částí a tím zabránit možnému pochybení v sériové výrobě. Zároveň musí být díl jednoduše vyrobitelný a demontovatelný. Nejjednodušší řešení je popis na všech konstrukčních částech formy. Nejčastěji na tvarových a funkčních částech se zhotovují nesouměrné otvory (vyhazovací desky), různé velikosti prvků (vodící lišty) a rozdílné rádiusy (tvarové vložky).



Obr. 77. - POKA JOKE vstřikovacích forem

6.10.3 ELEKTROINSTALACE DS

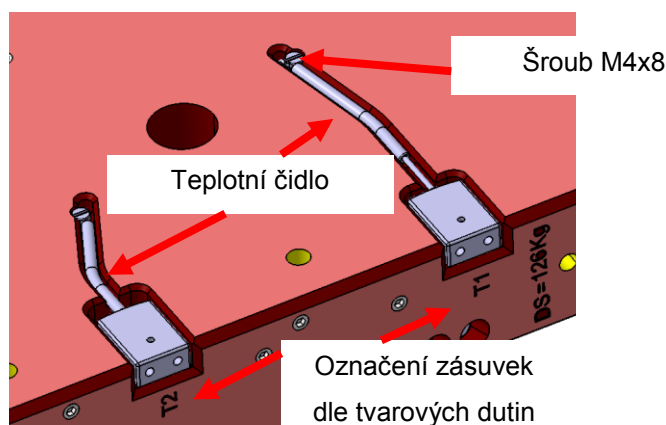
Řešení elektrického rozvodu pro vytápění horké trysky je řešeno tvarovou drážkou o minimálním předepsaném průchozím průřezu výrobce SYNVENTIVE 12x15 [mm]. Každá hrana, která přijde do styku s kabelem musí být sražena z důvodu možného prodření izolace. Aretace kabelu v drážce je řešena pomocí magnetických destiček CUMSA.^[22] Spojení s elektrickými obvody vstřikovacího stroje zajišťuje zásuvka označená jako X1 výrobce TECHNOTREND.^[23]



Obr. 78. - Elektrický rozvod horké trysky

Mezi další elektroinstalaci v pevné polovině formy patří teplotní čidla, která snímají teplotu uprostřed tvarové dutiny. V mém případě se jedná o použití čidel pouze na pevné polovině oproti zvyklostem, které zavádějí čidla na obou polovinách pro stálou kontrolu teploty. Tyto data slouží pro ověření kvality vstřikování a teplotní stálosti cyklů.

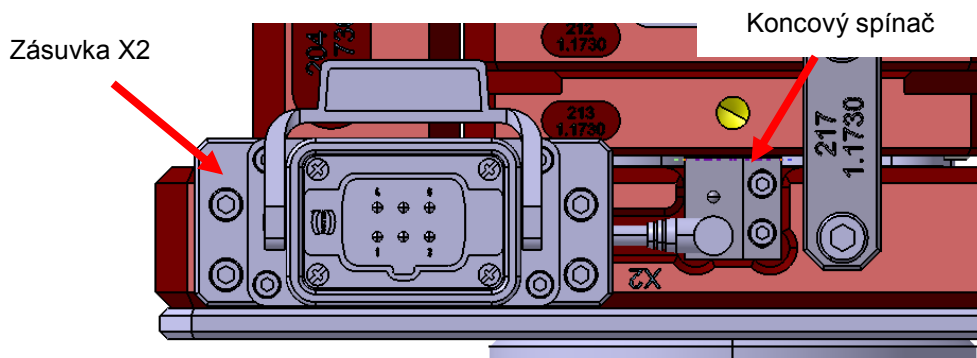
Pro tuto aplikaci byla zvolena teplotní čidla a zásuvky TECHNOTREND ^[23] se samostatným vyvedením ze strany obsluhy vstřikovacího stroje. Podobně jako u předešlé aplikace se všechny hrany sráží. Špička teplotního čidla je zapuštěna 3,5 [mm] od tvarové dutiny v otvoru o průměru 1,6 [mm] a aretaci v této poloze zaručuje šroub M4x8. Pružný kolík 3x20 A zajišťuje polohu zásuvky a celá kabeláž je zakryta upínací deskou pevné poloviny.



Obr. 79. - Teplotní čidla

6.10.4 ELEKTROINSTALACE AS

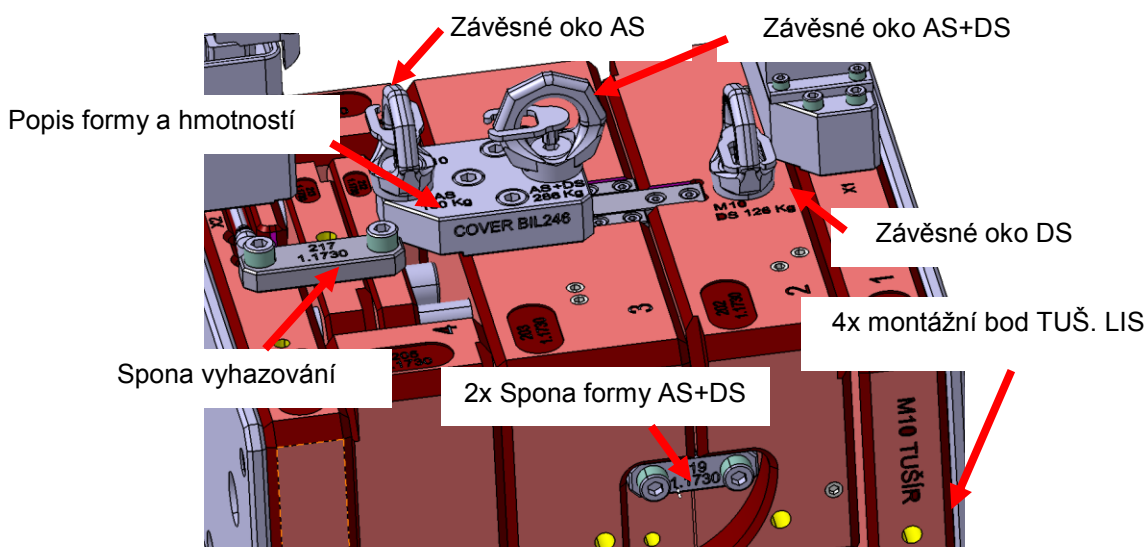
V případě pevné poloviny jsem se omezil jen na koncový spínač vyhazování, který dává signál do vstřikovacího stroje a ten nezahájí uzavírání formy v případě, že vyhazovací systém nezajel do koncové polohy. Koncový spínač je zvolen od výrobce HASCO ^[24] a je také použit originální kabel. Kabeláž je opět umístěna v drážce, která zabrání poškození a bezpečně vede kabel do zásuvky TECHNOTREND ^[23]. Odsazení spínače od vyhazovací desky činí 0,5 [mm] dle katalogu.



Obr. 80. - Koncový spínač

6.10.5 NOSNÉ PRVKY FORMY

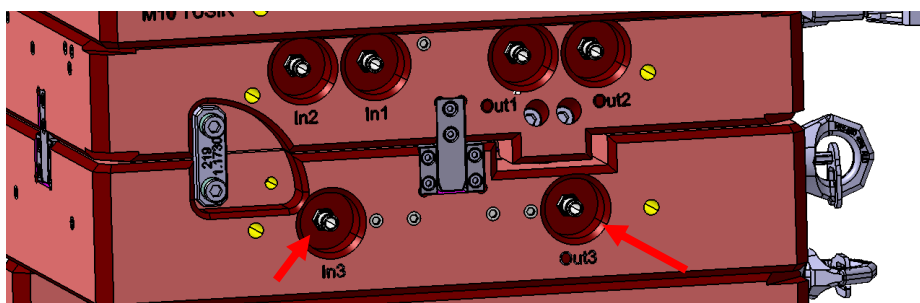
Manipulace s celou formou, pohyblivou a pevnou polovinou jsou podrobně popsány v příloze č.10. Pro manipulaci se používají závěsné oka RUD-VRS-M10 (Příloha č.16.), které jsou dostatečně předimenzovány s nosností až 1[t]. Součástí nosných prvků jsou spony formy AS+DS, které zajišťují vzájemnou polohu obou polovin a také slouží pro manipulaci na tuširovacím lise. V návrhu figuruje ještě spona vyhazování pro jištění celého paketu při demontáži a manipulaci s formou. Na (Obr. 83.) lze vidět manipulační závity na všech deskách formy, které slouží výhradně pro montážní účely.



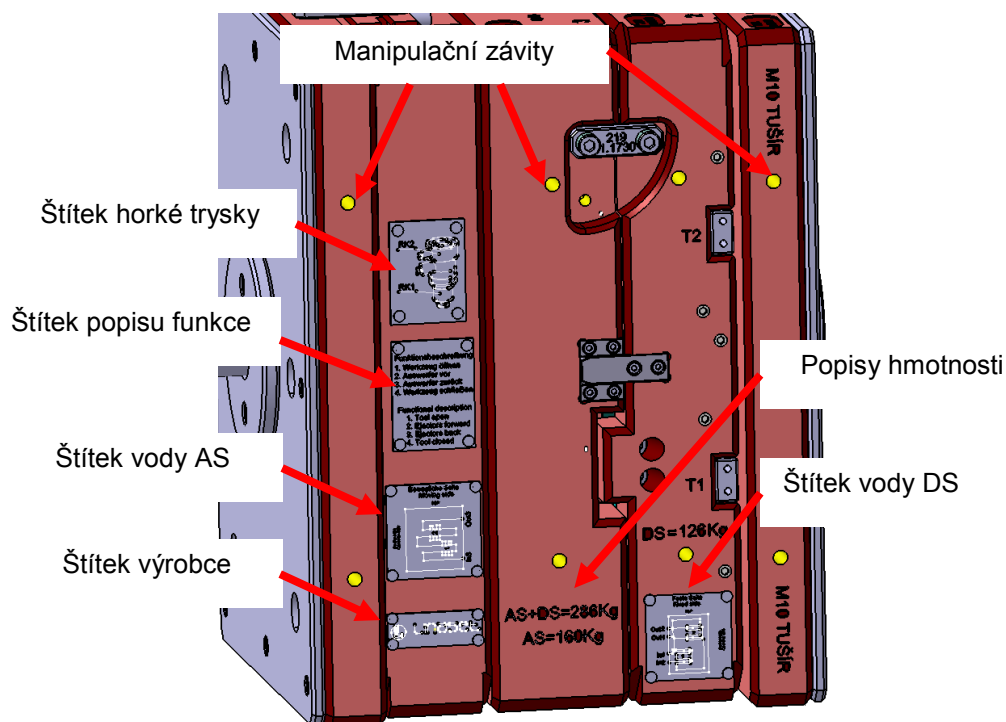
Obr. 81. – Nosné prvky formy

6.10.6 ŠTÍTKY A VNĚJŠÍ POPISY

Štítky a popisy zásuvek, konektorů, vstupů a výstupu chlazení a hmotnosti jsou důležitými prvky pro fungování formy v běžném provozu. Pracovníci, kteří manipulují s formou, jsou okamžitě seznámeni se základními parametry (název, hmotnost, funkce, označení zásuvek a chlazení). Na (Obr. 83.) jsou zobrazeny štítky a různé popisy formy. Mezi důležité označení při montáži formy jsou okruhy chladicí vody, které se označují popisem In-vstup a popisem Out-výstup na každém okruhu zvlášť.



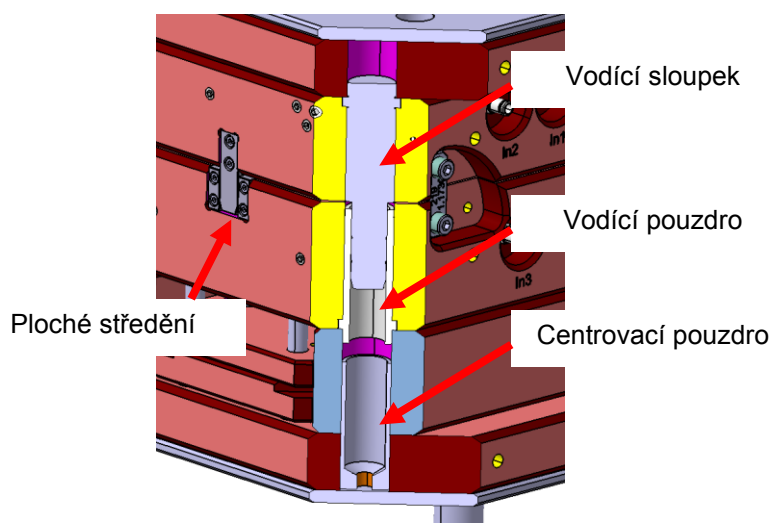
Obr. 82. - Označení chladicích okruhů



Obr. 83. - Štítky a manipulační závity formy

6.10.7 VEDENÍ A STŘEDĚNÍ FORMY

Pro bezpečnou funkci uzavírání vstřikovací formy se navrhují vodící sloupky a pouzdra HASCO^[25]. Tyto prvky zabezpečují hrubé navedení pevné a pohyblivé poloviny do sebe. Zároveň slouží pro vystředění desek mezi sebou. Pro jemné středění jsem použil ploché vedení ze všech čtyř stran. Toto vedení musí zabíhat do sebe ve chvíli, kdy se stýkají tvarové prvky dutin pevné a pohyblivé poloviny.



Obr. 84. - Vedení a středění formy

6.11 ZÁSADY KONSTRUKCE

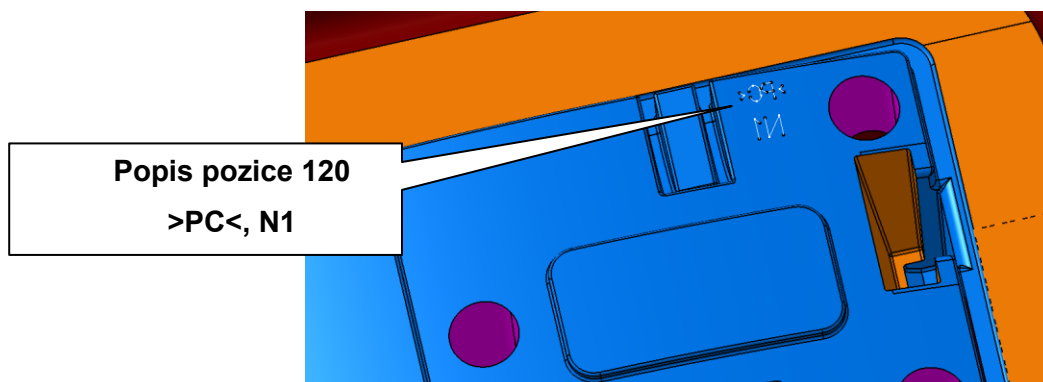
V předchozích kapitolách jsem se již zmiňoval, že konstrukce výstřiku a vstřikovací formy podléhala postupům a směrnicím dle firmy Linaset, a.s. Použitím katalogových dílů, DFMEA a CADMOULD analýz se mnoho prvků obešlo bez složitých výpočtů.

Celá konstrukce formy se řídila podmínkou jednoduché vyrobitelnosti a proto, jsem využíval směrnice pro co největší možné rozměry rádiusů v dutinách, aby nebylo nutné využívat malé rozměry fréz.

Z předchozích obrázků tvarových dutin a desek lze vidět různé zabarvení funkčních a nefunkčních částí vstřikovací formy. Firma využívá 3D bezvýkresovou dokumentaci (barvení 3D modelů), která nabízí největší uplatnění při obrábění a prezentacích forem zákazníkům. Barvy určují funkci, přesnost, závit apod. Ovšem 2D výkresová dokumentace zatím nezastupitelně figuruje při samotné výrobě a kontrole dílů.

Výstupem konstrukce vstřikovací formy jsou samozřejmě výše zmiňované kladné analýzy, výkresová dokumentace ale také servisní plán vstřikovacího nástroje uvedený v příloze č.10. Ten popisuje potřebné úkony pro použití formy v praxi. Servisní plán popisuje:

- Parametry formy
- Mazací místa
- Těsnící místa
- Popisy tvarových dutin (Obr. 85.)
- Povrch dutiny
- Povolky
- Řešení vtokového systému
- Řešení POKA-JOKE
- Manipulace s formou
- Návrh náhradních dílů



Obr. 85. - Servisní plán (popis tvarové dutiny)

6.12 KONTROLNÍ VÝPOČTY

Základní kontrolní výpočty jsou součástí správně navržené vstřikovací formy. V kapitole je řešen vzpěr vyhazovačů, průhyb tvarové desky a otláčení kalených a nekalených povrchů.

6.12.1 KONTROLA VYHAZOVAČŮ NA VZPĚR

Z důvodu malých prostorů na výstřiku bylo nutné využít vyhazovačů o průměrech 0,8 a 1,4 [mm] (Obr. 62.). Tyto vyhazovače musíme kontrolovat na vzpěr, pro případ obou upnutých konců dle [15].

Síla působící ze vstřikovacího tlaku na vyhazovač 1,4 [mm]

$$F_p = p_{\max} \cdot S_v = 66,94 \cdot \frac{\pi \cdot 1,4^2}{4} = 103[\text{N}] \quad (6.5)$$

Kde:

- F_p [N] - síla působící na vyhazovač ze vstřikovacího tlaku
- $p_{\max} = 66,94$ [MPa] – maximální vstřikovací tlak dle CADMOULD
- S_v [mm²] – plocha vyhazovače ve tvarové dutině

Kontrola na vzpěr vyhazovače 1,4 [mm]

$$F_{\text{krit}} = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot J}{l^2} = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 210000 \cdot 0,188}{90,6^2} = 190[\text{N}] \quad (6.6)$$

$$J = \frac{\pi \cdot D^4}{64} = \frac{\pi \cdot 1,4^4}{64} = 0,188[\text{mm}^4] \quad (6.7)$$

Kde:

- F_{krit} [N] – kritická síla způsobující průhyb
- $E = 210000$ [MPa] – modul pružnosti oceli v tahu
- $J = 0,188$ [mm⁴] – kvadratický moment průřezu
- $l = 90,6$ [mm] – délka vyložení vyhazovače dle 3D dat
- $D = 1,4$ [mm] – průměr vyhazovače dle 3D dat

Výsledná bezpečnost průhybu vyhazovače 1,4 [mm]

$$k = \frac{F_{krit}}{F_p} = \frac{190}{103} = 1,8[-] \quad (6.8)$$

Vyhazovač vyhovuje podmínkám a zároveň se vrtané díry pro vyhazovač volí větší jen o 1 [mm]. Díra v tomto případě zabezpečí, aby se vyhazovač nedeformoval.

Síla působící ze vstřikovacího tlaku na vyhazovač 0,8 [mm]

$$F_p = p_{max} \cdot S_v = 66,94 \cdot \frac{\pi \cdot 0,8^2}{4} = 33,6[N] \quad (6.9)$$

Kde:

- F_p [N] - síla působící na vyhazovač ze vstřikovacího tlaku
- $p_{max} = 66,94$ [MPa] – maximální vstřikovací tlak dle CADMOULD
- S_v [mm²] – plocha vyhazovače ve tvarové dutině

Kontrola na vzpěr vyhazovače 0,8 [mm]

$$F_{krit} = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot J}{l^2} = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 210000 \cdot 0,020}{55,1^2} = 54,6[N] \quad (6.10)$$

$$J = \frac{\pi \cdot D^4}{64} = \frac{\pi \cdot 0,8^4}{64} = 0,020[mm^4] \quad (6.11)$$

Kde:

- F_{krit} [N] – kritická síla způsobující průhyb
- $E = 210000$ [MPa] – modul pružnosti oceli v tahu
- $J = 0,020$ [mm⁴] – kvadratický moment průřezu
- $l = 55,1$ [mm] – délka vyložení vyhazovače dle 3D dat
- $D = 0,8$ [mm] – průměr vyhazovače dle 3D dat

Výsledná bezpečnost průhybu vyhazovače 0,8 [mm]

$$k = \frac{F_{krit}}{F_p} = \frac{54,6}{33,6} = 1,6[-] \quad (6.12)$$

Vyhazovač vyhovuje podmínkám a zároveň se vrtané díry pro vyhazovač volí větší jen o 1 [mm]. Díra v tomto případě zabezpečí, aby se vyhazovač nedeformoval.

6.12.2 KONTROLA DESKY TVÁRNÍKU NA PRŮHYB

Maximální ohybové napětí desky tvárníku ze vstřikovacího tlaku

$$\sigma_{o \max} = 0,308 \cdot p_{\max} \cdot \left(\frac{b}{t}\right)^2 = 0,308 \cdot 66,94 \cdot \left(\frac{140}{50,5}\right)^2 = 158,5 [\text{MPa}] \quad (6.13)$$

Kde:

- $\sigma_{o \max}$ [MPa] – maximální ohybové napětí
- $p_{\max} = 66,94$ [MPa] – maximální vstřikovací tlak dle CADMOULD
- $b = 140$ [mm] – šířka desky tvárníku bez podpor (Obr. 86.)
- $t = 50,5$ [mm] – minimální šířka desky tvárníku (Obr. 86.)

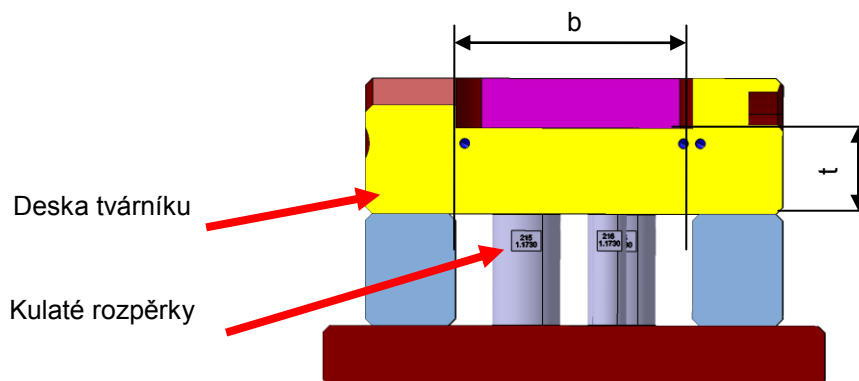
Velikost průhybu desky tvárníku

$$f_p \approx 0,026 \frac{p_{\max} \cdot b^4}{E \cdot t^3} = 0,026 \frac{66,94 \cdot 140^4}{210000 \cdot 50,5^3} = 0,025 [\text{mm}] \quad (6.14)$$

Kde:

- f_p [mm] – velikost průhybu desky tvárníku
- $p_{\max} = 66,94$ [MPa] – maximální vstřikovací tlak dle CADMOULD
- $E = 210000$ [MPa] – modul pružnosti oceli
- $b = 140$ [mm] – šířka desky tvárníku bez podpor (Obr. 86.)
- $t = 50,5$ [mm] – minimální šířka desky tvárníku (Obr. 86.)

Velikost průhybu desky tvárníku činí 0,025 [mm] a proto jsem zvolil podepření pomocí kulatých rozpěrek o průměrech 2x Ø40 a 2x Ø20 [mm]. (Obr. 88.) Toto řešení zajistí dostatečné podepření také pro maximální uzavírací sílu vstřikovacího stroje.



Obr. 86. - Výpočet průhybu desky tvárníku

6.12.3 KONTROLA NA OTLAČENÍ

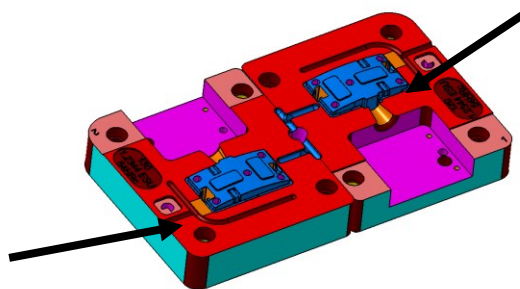
Kontrola na otláčení nejmenší kalené plochy

$$\sigma_o = \frac{F_{u\max}}{S} = \frac{800000}{0,016} = 50 \times 10^6 [Pa] = 50 [MPa] \quad (6.15)$$

Kde:

- σ_o [MPa] – napětí v otláčení
- $F_{u\max} = 800000$ [N] – maximální uzavírací síla lisu EN330/80 (dle dokumentace lisu)
- $S = 0,016$ [m²] – minimální kalená plocha (dělicí rovina tvárníků) (Obr. 87.)

Dovolené napětí na otláčení je pro kalené materiály $\sigma_{o\text{ dov}} = 240$ [MPa]. Plocha dělicí roviny tedy vyhovuje pro práci na tomto lise.



Obr. 87. - Kontrola plochy na otláčení (dělicí rovina)

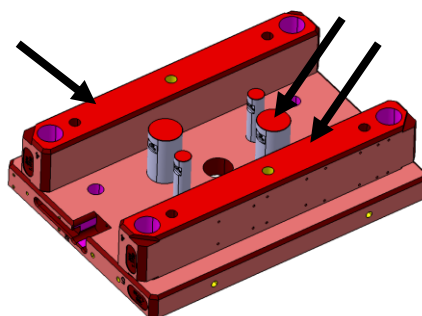
Kontrola na otláčení nejmenší nekalené plochy

$$\sigma_o = \frac{F_{u\max}}{S} = \frac{800000}{0,032} = 25 \times 10^6 [Pa] = 25 [MPa] \quad (6.16)$$

Kde:

- σ_o [MPa] – napětí v otláčení
- $F_{u\max} = 800000$ [N] – maximální uzavírací síla lisu EN330/80 (dle dokumentace lisu)
- $S = 0,032$ [m²] – minimální nekalená plocha (plochy rozpěrek) (Obr. 88.)

Dovolené napětí na otláčení je pro nekalené materiály $\sigma_{o\text{ dov}} = 60$ [MPa]. Plocha rozpěrek je přibližně dvojnásobná oproti doporučenému minimu a jejich konstrukce tedy vyhovuje.

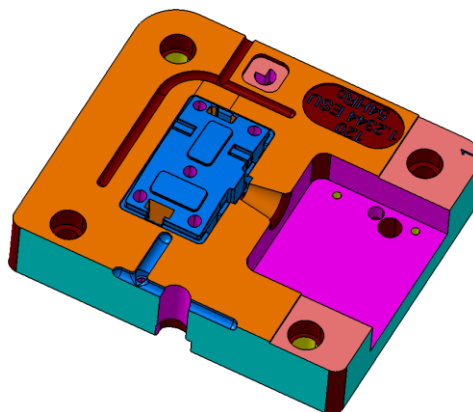


Obr. 88. - Kontrola plochy na otlačení (rozpěrky)

7 TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY TVÁRNÍKU

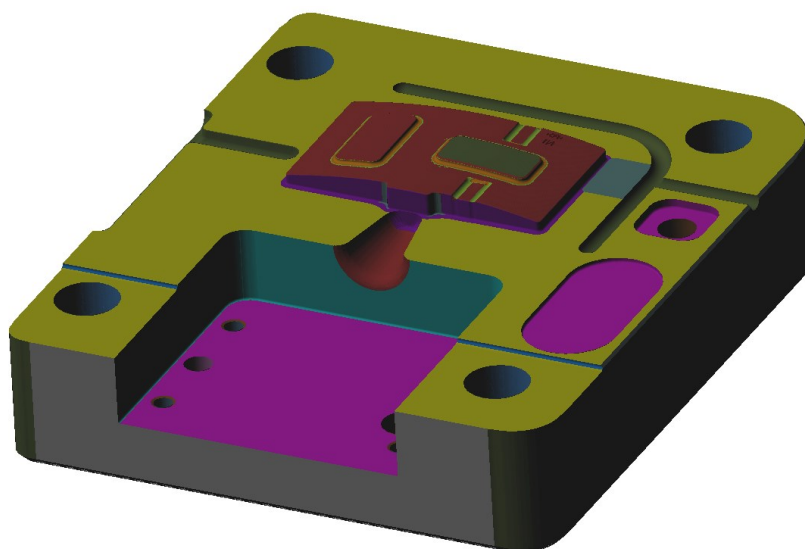
Součástí zadání bylo také uvést základní postup výroby tvarové dutiny, v tomto případě tvárníku, který byl vyráběn firmou Linaset, a.s. Výroba se týká jednoho kusu tvárníku (bez kalení) číslo výkresu (BIL246V120-TVÁRNÍK 1) (Obr. 89.). Materiál tvárníku byl zvolen W-Nr. 1.2344 ESU. (elektrostruskově přetavovaná ocel vhodná pro vakuové lesklé kalení) Ocel je odolná proti otěru a využívá se pro tvarové dutiny. Postup výroby byl zhotoven ve spolupráci s firmou dle zavedených směrnic, je rozvržen na 59 hodin a je následující:

- 1) Hrubování polotovaru na rozměr 120,3 x 140,3 x 36,3 [mm]
- 2) Broušení na plochu tvaru 120k6 x 140k6 x 36 [mm]
- 3) Zhotovení CNC programů v CAM oddělení
- 4) CNC obrábění dle programu na dvě polohy
- 5) Elektroerozivní EDM obrábění tvarové dutiny (kap. 7.1)
- 6) Elektroerozivní WEDM obrábění otvorů pro vyhazovače a vložku vtoku
- 7) Kontrola rozměrů na 3D měrových centrech (kap. 8)
- 8) Opracování tvaru na Ra0,4 a zrcadlové leštění
- 9) Celková kontrola rozměrů vyrobeného tvaru



Obr. 89. - Tvárník (číslo výkresu BIL246V120)

Programy pro CNC stroje jsem zhotovil v nastavbovém modulu programu CATIA. Obrábění probíhalo ve dvou polohách. Kde v první poloze byly vyvrtány otvory ze spodní části tvárníku a v druhé obráběn tvar a dělicí rovina. Všechny nástroje a nastavení operací jsou v souladu s vnitřními postupy firmy. Na přiloženém datovém nosiči jsou uloženy videa obrábění obou poloh. Čistý strojní čas na první polohu odpovídá 0.38 [hod] a pro druhou polohu 2.53 [hod].



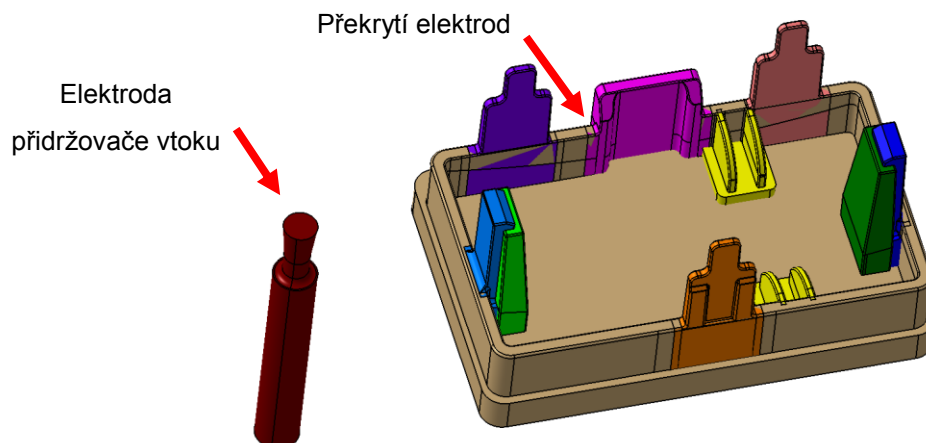
Obr. 90. - CAM simulace tvárníku

7.1 KONSTRUKCE EDM-ELEKTROD

Povinností konstruktéra při návrhu vstřikovací formy je vytvoření EDM elektrod pro elektroerozivní obrábění tvarových dutin. Konvenční technologií nejsme schopni vyrobit malý rádius či tenké žebro. Při návrhu elektrod platí mnoho pravidel, ovšem zjednodušeně se jedná o negativ tvarové dutiny, který je nutno zmenšit o elektrojiskrovou mezeru a upnout do normalizovaných upínačů na daný elektroerozivní stroj. Dále se musí elektrody vzájemně překrývat (Obr. 91.) tak, aby nevznikaly na obrobené ploše „stopy“. Na přiloženém obrázku je dále vidět samostatná elektroda pro obrobení přidržovače vtoku (BIL246120E04-ELEKTRODA), která se upíná do normalizované kleštiny o průměru 6 [mm]. Ostatní elektrody se upevňují do konstrukčně rozmanitých EDM upínačů.

Obrábění bylo opět nasimulováno v programu CATIA a videa jsou uloženy na datovém nosiči. Nutno poznamenat že samotné obrábění probíhá na upínači, který poskytuje přesnost upnutí a elektroerozivního obrábění v řádu tisícín milimetru.

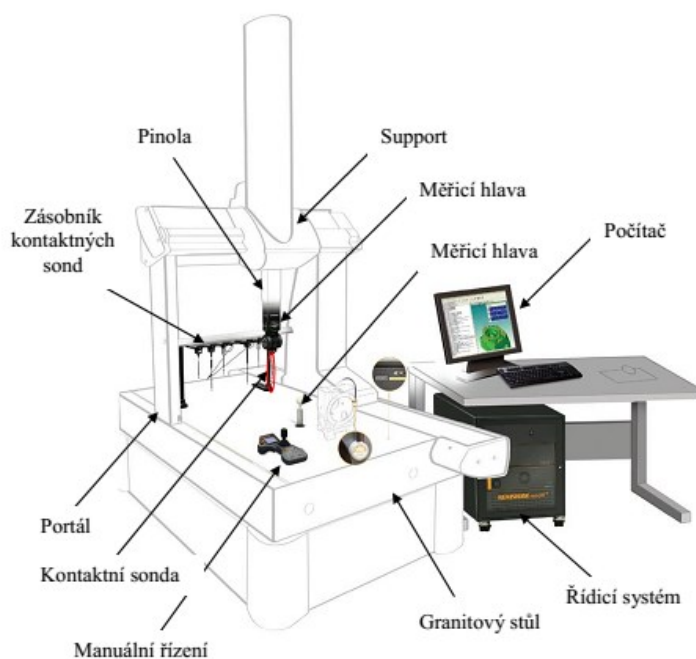
V příloze č.11. jsem uvedl omezený seznam elektrod, které se vyrábějí v rámci projektu diplomové práce.



Obr. 91. - Sestava elektrod pro kompletní výrobu tvárníku

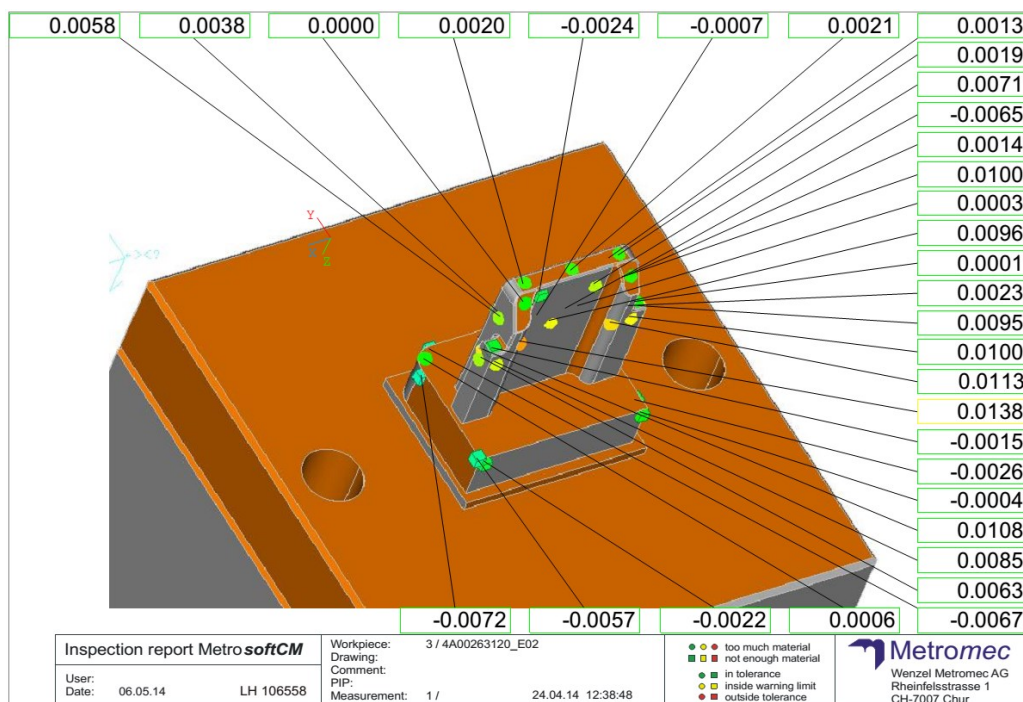
8 KONTROLA ROZMĚRŮ

Základní operační a celková kontrola probíhá ve firmě na měrových centrech WENZEL. Schéma a uspořádání podobného centra je uvedeno na (Obr. 92.). Tyto 3D měřicí stroje vychází se zhotovených 3D CAD modelů a porovnávají odchylky mezi vyrobeným tvarem. Výsledky kontroly rozměrů jsou stěžejní pro určení kvality vyrobeného kusu nebo pro případné opravy.



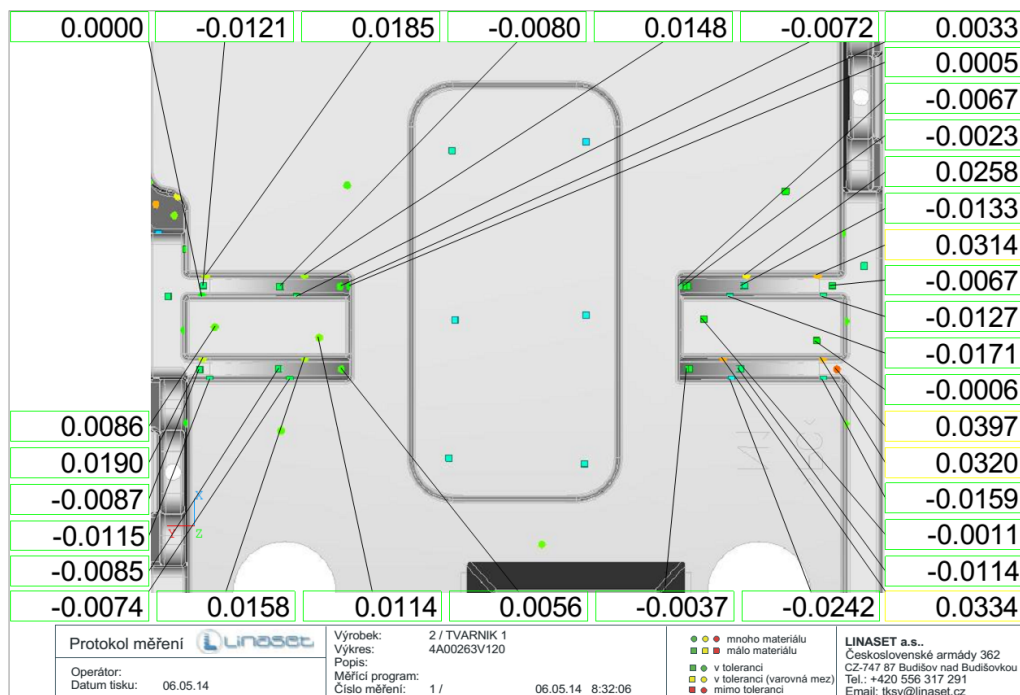
Obr. 92. - 3D měrové centrum [26]

Měření elektrod se provádí před samotným elektroerozivním obráběním, aby bylo vyloučeno špatné obrobení tvaru a následná nutná oprava. V příloze č.12. a na (Obr. 93.) je uveden kompletní měrový vyráběných elektrod.



Obr. 93. - Měřící protokol elektrody

Měření tvárníku se provádělo po obrábění a EDM hloubení. Toto měření se provádí pro kontrolu obrobení a poté se tvárník předává na dopracování tvaru nástrojaři. Po vypracování na požadovanou drsnost a leštění se opět tvárník předá na 3D kontrolu tvaru. V příloze č.13. a na (Obr. 94.) je uveden měrový protokol tvárníku.



Obr. 94. - Měřící protokol tvárníku

9 ZÁVĚR

Při řešení diplomové práce jsem se zabýval konstrukcí vstřikovaných součástí a vstřikovacích forem pro sériovou výrobu. Celý 3D návrh, řešení technologického postupu a měření probíhalo v souladu s metodickými postupy firmy Linaset, a.s. a jejími DFMEA a Mold Flow analýzami.

První část práce se soustředí na rešerši technologie vstřikování, vstřikovacích forem a vstřikovaných výrobků. Problematiku jsem rozdělil do několika základních částí, vysvětlil základní principy a konstrukční řešení konkrétního problému.

V praktické části řešení zadané součásti jsem nejprve nasimuloval proces vstřikování v programu CADMOULD a pomocí MKP výpočtů upravil konstrukci vstřikované součásti. Při řešení vstřikovací formy jsem využíval program CATIA a jeho nástavbové moduly, které do značné míry usnadňují práci konstruktéra. Potřebné části vstřikovací formy jsem popsal a popřípadě podpořil výpočtem nebo simulací. Celá konstrukce vstřikovacího nástroje společně se zvoleným vstřikovacím strojem je uložena na přiloženém datovém nosiči. Součásti formy jsou barveny dle 3D bezvýkresové dokumentace firmy a tvarové prvky dutin jsou zpracovány ve 2D výkresové dokumentaci. Závěrem praktické části je řešen technologický postup, simulace obrábění, konstrukce EDM elektrod a kontrola rozměrů na 3D měrových centrech.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *MM Průmyslové spektrum: Plasty v automobilovém průmyslu*. Praha, roč. 2013, 1,2. ISSN 1212-2572.
- [2] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů*. 1. vyd. BEN-Technická literatura, 2009. 247 s. ISBN 978-80-7300-2.
- [3] BOBČÍK, Ladislav. UNIPLAST BRNO. *FORMY PRO ZPRACOVÁNÍ PLASTŮ: I.DÍL-Vstřikování termoplastů*. 2. vyd. Brno, 1999, 134 s.
- [4] DVOŘÁK, Zdeněk a Hana LÉDLOVÁ. *ZÁKLADY VÝROBNÍCH PROCESŮ: Výrobní technologie zpracování polymerů vstřikováním*. ZLÍN, 2007. Dostupné z: www.utb.cz/file40836. UNIVERZITA Tomáše Bati ve Zlíně.
- [5] LENFELD, Petr. *Technologie II: Část II - Zpracování plastů*. In: [online]. 2005 [cit. 2014-03-07]. Dostupné z: www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/obsah_plasty.htm
- [6] BĚHÁLEK, Luboš. *Přehled základních termoplastů, reaktoplastů a termoplastických elastomerů: Vlastnosti a inženýrské aplikace plastů*. Liberec, 2006. TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI.
- [7] MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM. *Návrh vstřikovací formy očima konstruktéra*. [online]. 2002, roč. 2002, č. 1, s. 46 [cit. 2014-03-07]. Dostupné z: www.mmspektrum.com/clanek/navrh-vstrikovaci-formy-ocima-konstruktera.html
- [8] *Vstřikovací formy*. FSI VUT V BRNĚ. *Odbor technologie tváření kovů a plastů* [online]. 2008 [cit. 2014-03-07]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/cviceni_soubory/htn__tvareci_nastroje_vstrikovaci_formy__zak.pdf
- [9] ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů*. SEKURKON. 2006, 225 s. ISBN 80-86604-18-7.
- [10] INNOMIA A.S. *DMLS: Konformní chlazení* [online]. 2012 [cit. 2014-03-25]. Dostupné z: <http://www.innomia.cz/sluzby/konformni-chlazení>

- [11] BOBČÍK, Ladislav. UNIPLAST BRNO. *FORMY PRO ZPRACOVÁNÍ PLASTŮ: II.DÍL-Vstřikování termoplastů*. Brno, 1999, 214 s.
- [12] Fotogalerie. LINASET, A.S. [online]. 2014 [cit. 2014-03-28]. Dostupné z: <http://www.linaset.cz/fotogalerie>
- [13] MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM. Jednoduché hloubení na nejvyšší úrovni. [online]. 2010, roč. 2010, č. 7, s. 25 [cit. 2014-03-07]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/jednoduche-hloubeni-na-nejvyssi-urovni.html>
- [14] Sprue Bushing Series 09 S. SYNVENTIVE. [online]. 2013 [cit. 2014-04-30]. Dostupné z: http://www.synventive.com/uploadedFiles/Products/Hot_Runner_Systems/Nozzles/PDFs/CAT-01-0044_EN.pdf
- [15] *Strojnické tabulky*. 4.doplňené vydání. Úvaly: ALBRA, 2008. ISBN 978-80-7361-051-7.
- [16] Heat transfer pipe Z 975. HASCO. [online]. 2014 [cit. 2014-04-30]. Dostupné z: http://www.hasco.com/gb/content/view/products_product_variants/18280
- [17] Guide pillar Z 01. HASCO. [online]. 2014 [cit. 2014-04-30]. Dostupné z: http://www.hasco.com/de/content/view/products_product_variants/17594
- [18] Spring plunger Z 371. HASCO. [online]. 2014 [cit. 2014-04-30]. Dostupné z: http://www.hasco.com/gb/content/view/products_product_variants/17111
- [19] Cooling system. HASCO. [online]. 2014 [cit. 2014-04-30]. Dostupné z: <http://www.hasco.com/gb/content/view/full/3647>
- [20] Power clamp Z 742. HASCO. [online]. 2014 [cit. 2014-04-30]. Dostupné z: http://www.hasco.com/gb/content/view/products_product_variants/17087
- [21] K/... square. HASCO. [online]. 2014 [cit. 2014-04-30]. Dostupné z: <http://www.hasco.com/gb/content/view/full/4153>
- [22] Cable Retainer. CUMSA. [online]. 2014 [cit. 2014-04-30]. Dostupné z: <http://www.cumsa.com/PDF/SC.pdf>

[23] Elektro. TECHNOTREND. [online]. 2014 [cit. 2014-04-30]. Dostupné z:
http://www.technotrend.cz/_katalog/2_Elektro.pdf

[24] Limit switch Z140. HASCO. [online]. 2014 [cit. 2014-04-30]. Dostupné z:
<http://www.hasco.com/gb/content/view/full/17904>

[25] General mould Components. HASCO. [online]. 2014 [cit. 2014-04-30]. Dostupné z:
<http://www.hasco.com/gb/content/view/full/1886>

[26] ČEPOVÁ, Lenka a PETŘKOVSKÁ. *Legislativa ve strojírenské metrologii a přesné měření 3D ploch: studijní opora* [online]. Ostrava, 2011 [cit. 2014-05-04]. ISBN 978-80-248-2514-4. Dostupné z:
http://projekty.fs.vsb.cz/019/dokumenty/METROLOGIE_FINAL.pdf. VŠB-TU Ostrava.

[27] Aplikace PVD na ošetření forem pro vstřikování plastů a lití Al. TRIBOTECHNIKA. [online]. 2014 [cit. 2014-05-13]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-32011/aplikace-pvd.html>

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č.1.-MATERIÁLOVÝ LIST_PC_Makrolon_2407

Příloha č.2.-CADMOULD analýza 1

Příloha č.3.-CADMOULD analýza 2

Příloha č.4.-CADMOULD analýza 3

Příloha č.5.-VÝPOČTOVÁ ZPRÁVA-záskočkový spoj

Příloha č.6.-VÝPOČTOVÁ ZPRÁVA-vylamovací otvor(vnitřní)

Příloha č.7.-VÝPOČTOVÁ ZPRÁVA-vylamovací otvor(vnější)

Příloha č.8.-CADMOULD analýza-chlazení

Příloha č.9.-CADMOULD analýza-kontrola předformování

Příloha č.10.-SERVISNÍ PLÁN

Příloha č.11.-INTERNÍ SEZNAM ELEKTROD

Příloha č.12.-MĚROVÝ PROTOKOL ELEKTROD

Příloha č.13.-MĚROVÝ PORTOKOL TVÁRÍNKU

Příloha č.14.-3D SESTAVA FORMY A VÝSTŘIKU

Příloha č.15.-VYHAZOVAČ R-K 32181DLC

Příloha č.16.-ZÁVĚSNÉ OKO-RUD VRS-F-M10

POUŽITÉ SOFTWARE VYBAVENÍ

- 1) CADMOULD 3D-F
- 2) CATIA V5 – CORE AND CAVITY DESIGN
- 3) CATIA V5 – MOLD TOOLING DESIGN
- 4) CATIA V5 – MAKRO COLOR STANDARD
- 5) CATIA V5 – CENIT FAST ELECTRODE
- 6) CATIA V5 – SURFACE MACHINING
- 7) WENZEL METROMECH SOFTWARE

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. – Optimalizace vstřikovacího procesu [1]	1
Obr. 2. – Zadaný plastový díl (zadní strana).....	2
Obr. 3. – Zadaný plastový díl (přední strana)	2
Obr. 4. – Oblasti využití amorfních a semikrystalických plastů [3]	4
Obr. 5. – Fáze vstřikovacího cyklu [2]	6
Obr. 6. – Vstřikovací stroj a) vstřikování, b) vyhození výstřiku [4].....	8
Obr. 7. – Vstřikovací jednotka [5].....	8
Obr. 8. – Poloha mezi vstřikovací jednotkou a dělicí rovinnou formy [5].....	10
Obr. 9. – Části vstřikovací formy [8]	11
Obr. 10. – Odstupňování násobného vtokového systému [3].....	12
Obr. 11. – Lichoběžníkový rozváděcí kanál [3].....	12
Obr. 12. – Bodový vtok - třídesková koncepce [8]	14
Obr. 13. – Základní typy vtokových ústí [8]	14
Obr. 14. – Tunelový vtok [9].....	15
Obr. 15. – Tunelový vtok s žebrem a srpkovitý vtok [3]	15
Obr. 16. – Vyhřívání vstřikovací trysky [3]	16
Obr. 17. – Tryska s uzavírací jehlou [9].....	17
Obr. 18. – Speciální využití vstřikovací trysky [9]	17
Obr. 19. – Vyhřívání vtokového systému [3]	18
Obr. 20. – Mechanické vyhazování [8]	19
Obr. 21. – Vzduchové vyhazování [8]	20
Obr. 22. – Hydraulický posuv čelisti [11]	20
Obr. 23. – Způsoby vyhazování vtokové zbytku [8]	20
Obr. 24. – Průřezy chladících kanálů [8]	22
Obr. 25. – Rozložení temperačního systému [8]	22
Obr. 26. – Srovnání klasického a konformního chlazení [10]	22
Obr. 27. – Systémy odvětrání [9]	23

Obr. 28. - Princip zaformování [9]	25
Obr. 29. - Smrštění a přechody stěn [9]	26
Obr. 30. – Poměr tloušťky stěn u žeber [9].....	26
Obr. 31. – Eliminace vtaženin žeber [9].....	26
Obr. 32. - Deformace stěn výstřiků [9].....	27
Obr. 33. - Zaoblení výstřiků [9].....	27
Obr. 34. - Řešení rohů na výstřiku [9].....	28
Obr. 35. - Eliminace lunkrů změnou konstrukce [9]	28
Obr. 36. – Matný povrch výstřiku s potiskem [12].....	29
Obr. 37. – Elektroda a obrobek [13]	31
Obr. 38. – Kompletní vstřikovací forma (pohyblivá, pevná polovina a výstřik) [12].....	32
Obr. 39. – Zadaná plastová součást.....	33
Obr. 40. - Analýza plnění	34
Obr. 41. – Propady.....	34
Obr. 42. – Deformace vedení	35
Obr. 43. - Deformace záskočkového spoje.....	35
Obr. 44. – Záskočkový spoj – okrajové podmínky	36
Obr. 45. – Záskočkový spoj – max. deformace a max. napětí dle hypotézy HMM	36
Obr. 46. - Rozměry pro průhyb záskočky [9]	37
Obr. 47. – Napětí na vnějším vylamovacím otvoru Ø 7 [mm]	38
Obr. 48. – Napětí na vnitřním vylamovacím otvoru Ø 4 [mm]	38
Obr. 49. - Schválená plastová součást.....	39
Obr. 50. - DFMEA analýza	40
Obr. 51. - Dělicí rovina	40
Obr. 52. - Konstrukční úpravy pro dělení	41
Obr. 53. - Dělicí rovina záskočkového spoje a tvarové čelisti	41
Obr. 54. - Horka tryska (SYNVENTIVE)	42
Obr. 55. - Vtokový systém.....	43
Obr. 56. - Vtokový systém (rozložení dutin).....	43
Obr. 57. - Pohyblivá polovina (tvárník)	44
Obr. 58. - Pevná polovina (tvárnice).....	44
Obr. 59. - Pevná tvarová vložka	45
Obr. 60. - Pohyblivá tvarová čelist.....	46
Obr. 61. - Vyhazovací systém	47
Obr. 62. - Rozložení vyhazovačů na výstřiku	47
Obr. 63. - Značení kotevní desky a zabudování vyhazovačů	48
Obr. 64. - Plochý vyhazovač RAINER-KNARR	48

Obr. 65. – Chladicí kanálky pevné poloviny formy.....	49
Obr. 66. – Chladicí kanálky pohyblivé poloviny formy	49
Obr. 67. - Uzavírací síla CADMOULD	50
Obr. 68. - Deformace výstřiku	50
Obr. 69. - Analýza chlazení (temperační okruhy)	51
Obr. 70. - Místa určená pro odvzdušnění	52
Obr. 71. - Odvzdušnění kruhového vyhazovače.....	53
Obr. 72. - Odvzdušnění záskočky	53
Obr. 73. - Odvzdušnění v dělicí rovině	54
Obr. 74. - Odvzdušnění vedlejší dělicí roviny	54
Obr. 75. – Forma na vstřikovacím stroji.....	55
Obr. 76. - Desky vstřikovací formy	56
Obr. 77. - POKA JOKE vstřikovacích forem	57
Obr. 78. - Elektrický rozvod horké trysky	57
Obr. 79. - Teplotní čidla.....	58
Obr. 80. - Koncový spínač.....	58
Obr. 81. – Nosné prvky formy	59
Obr. 82. - Označení chladících okruhů.....	59
Obr. 83. - Štítky a manipulační závity formy	60
Obr. 84. - Vedení a středění formy	60
Obr. 85. - Servisní plán (popis tvarové dutiny)	61
Obr. 86. - Výpočet průhybu desky tvárníku	64
Obr. 87. - Kontrola plochy na otláčení (dělicí rovina).....	65
Obr. 88. - Kontrola plochy na otláčení (rozpěrky)	66
Obr. 89. - Tvárník (číslo výkresu BIL246V120).....	66
Obr. 90. - CAM simulace tvárníku	67
Obr. 91. - Sestava elektrod pro kompletní výrobu tvárníku	68
Obr. 92. - 3D měrové centrum [26].....	68
Obr. 93. - Měřicí protokol elektrody	69
Obr. 94. - Měřicí protokol tvárníku.....	69

SEZNAM VÝKRESOVÉ DOKUMENTACE

Výkres plastové součásti:

BIL246V0000-COVER_BIL246-FINAL

Části tvarové dutiny:

BIL246V000 - SESTAVA FORMY

BIL246V100 - TVÁRNICE 1

BIL246V101 - TVAR. VLOŽKA 1

BIL246V102 - TVAR. VLOŽKA 2

BIL246V110 - TVÁRNICE 2

BIL246V111 - TVAR. VLOŽKA 3

BIL246V112 - TVAR. VLOŽKA 4

BIL246V120 - TVÁRNÍK 1

BIL246V130 - TVÁRNÍK 2

BIL246V140 - TVAR. VLOŽKA VYH. VTOKU

BIL246V141 - TVAROVÁ ČELIST 1

BIL246V142 - TVAROVÁ ČELIST 2

BIL246V143 - ODVZD. VLOŽKA

Elektroda vyráběná klasicky:

BIL246120E011-ELEKTRODA

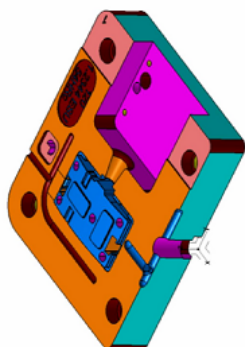
Příloha č.11.-INTERNÍ SEZNAM ELEKTROD

Číslo zakázky: 2A00263



Vypracoval: Biler
Schválil: P. Czakan
▼ C 750
Roeders

Datum: 23.4.2014



4A00263V120

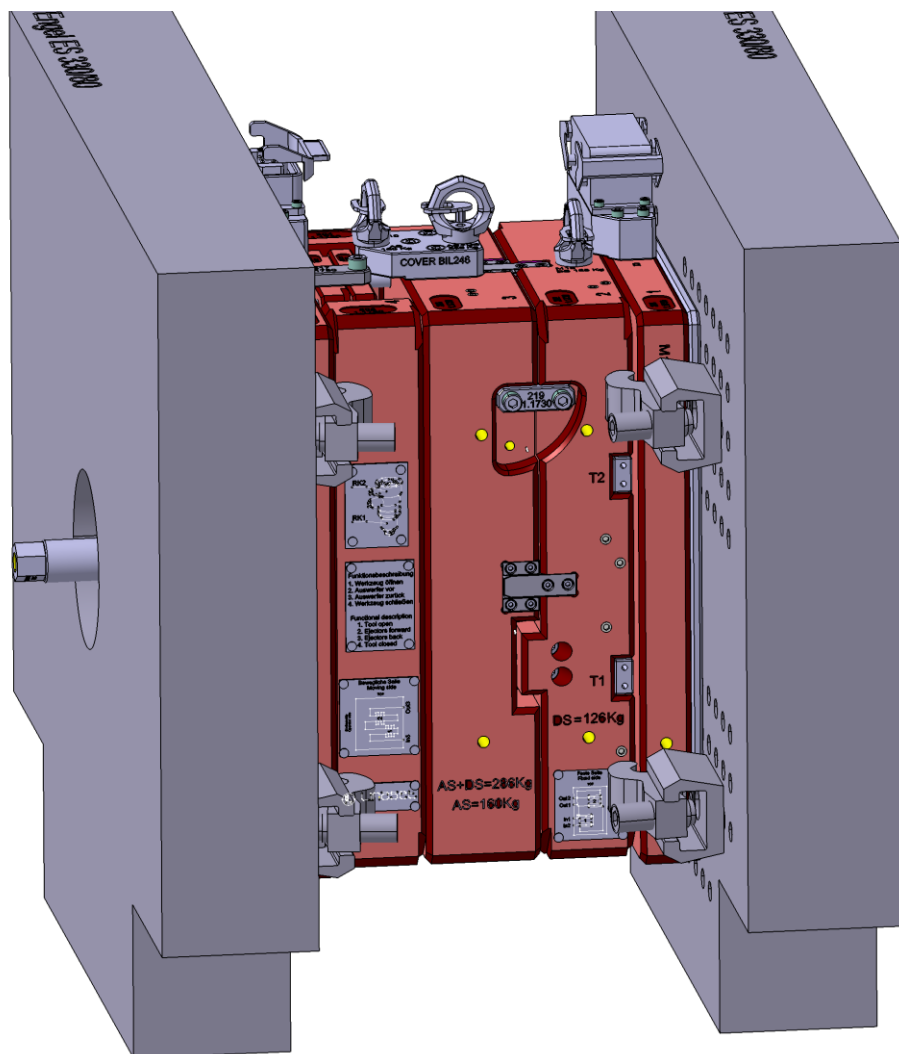
Jiskřit dle 3D modelu!!

V:\DIPLOMKA Michal Biler-NEMAZAT - 2A00263!!!\2D+3D TVARÝ A ELEKTRODY\2014_04_10-2A00263\4A00263120.CATProduct

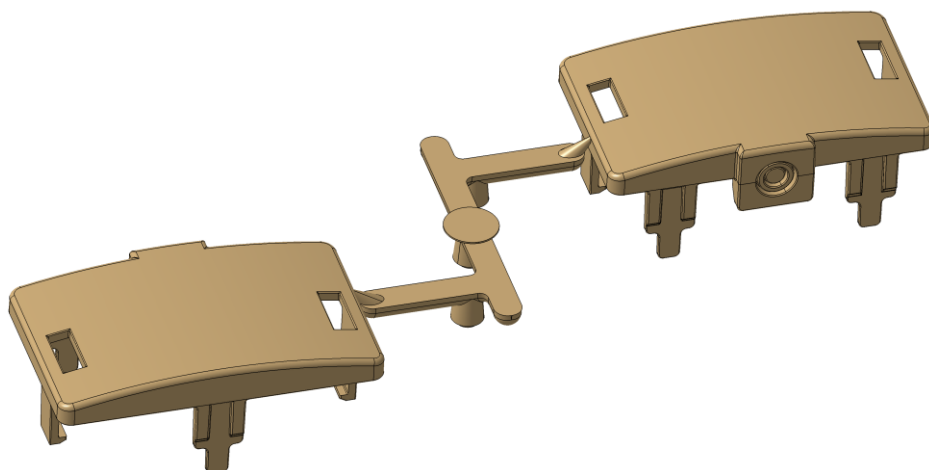
Data:

Poz.	Číslo elektrody	Počet kusů	Material	Změš.	Typ	Držák	Polotovary elektrody				Objem	Archiv.	Povrch	Poznámka	Datum	Datum
			ZRC		změš.			X	Y	Z	mm³		CH		CAD	CAM
120	4A00263120E01	1		0,2mm	PAR.PL	Erowa_Uniplat_Er009219_L41mm_with_Clamp_10mm		28	x	18	x	15			23.4.2014	
120	4A00263120E02	1		0,2mm	PAR.PL	Erowa_Uniplat_Er009219_L41mm_with_Clamp_10mm		20	x	15	x	25			23.4.2014	
120	4A00263120E03	1		0,13mm	PAR.PL	Erowa_Prisround_15mm_ER009222		15	x	15	x	40			23.4.2014	
120	4A00263120E03	1		0,13mm	PAR.PL	Erowa_Prisround_15mm_ER009222		15	x	15	x	40			23.4.2014	
120	4A00263120E04	1		0,4mm	OR8	Kleštiny pr. 6 mm		pr.6		45						
120	4A00263120E05	1		0,16mm	PAR.PL	Erowa_Uniplat_Er009219_L41mm_with_Clamp_10mm		65	x	40	x	15			23.4.2014	
Počet druhů elektrod:						6										
Celkový počet kusů elektrod:						6										

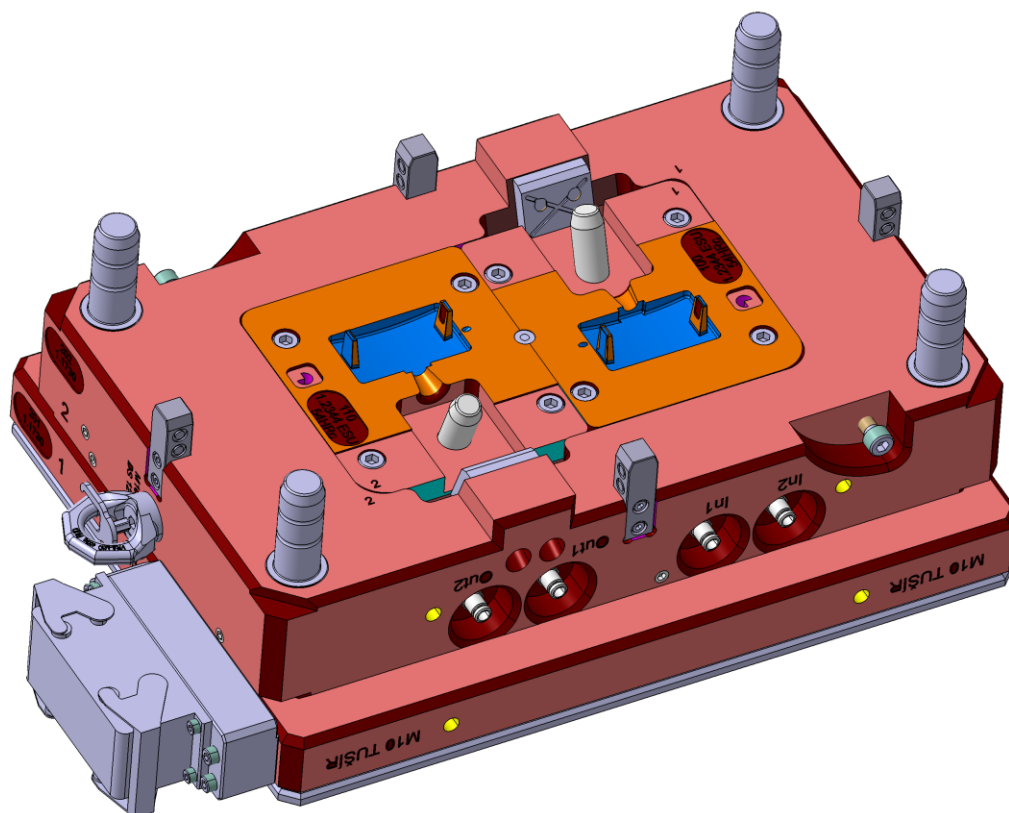
Příloha č.14.-3D SESTAVA FORMY A VÝSTŘIKU



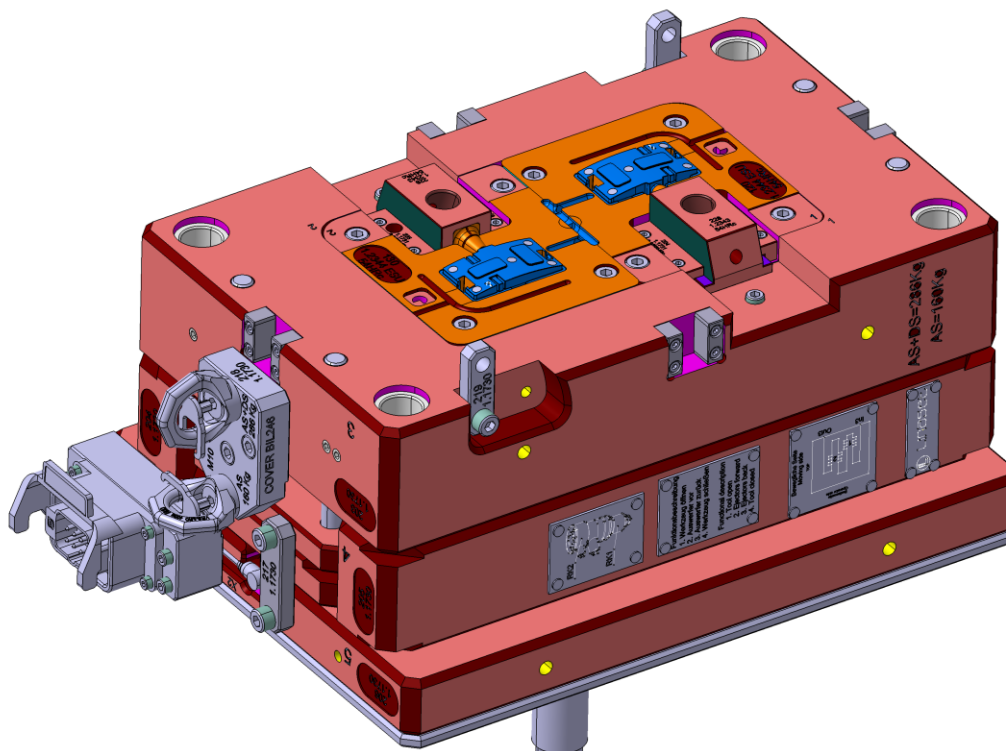
Obr. 1. - Sestava vstřikovací formy na stroji



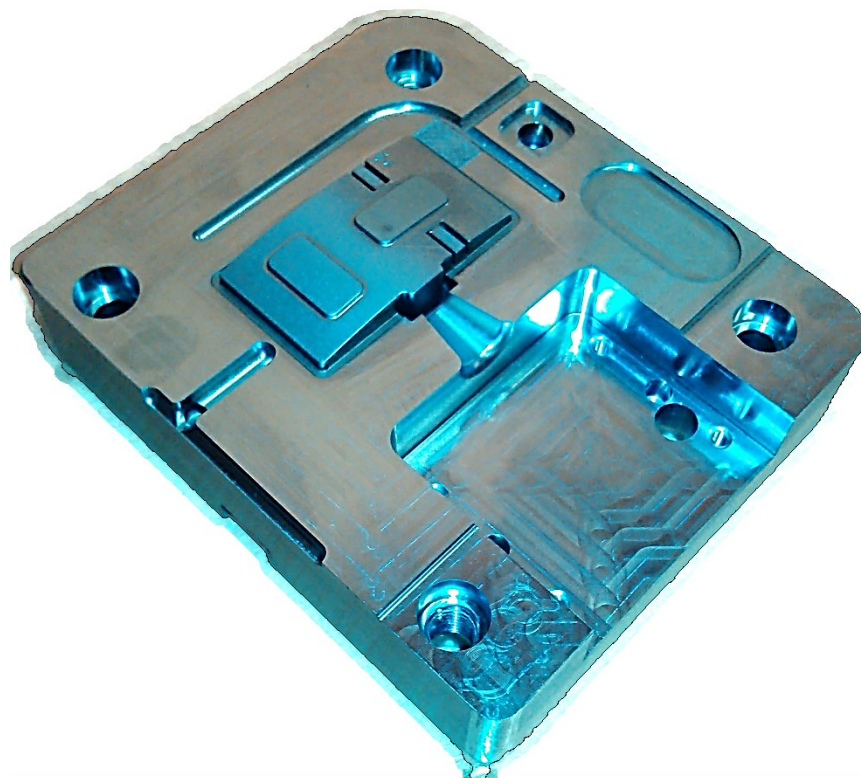
Obr. 2. - Výstříky s vtokovým systémem



Obr. 3. - Pevná polovina formy



Obr. 4. - Pohyblivá polovina formy



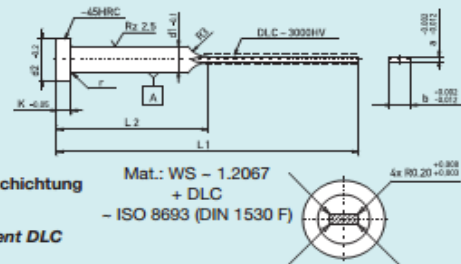
Obr. 5. - Vyrobený tvárník



Obr. 6. - Vyrobené EDM elektrody

Příloha č.15.-VYHAZOVAČ RAINER-KNARR 32181DLC

32181DLC



Flachauswerfer mit 4 Eckenradii 0,2 und DLC-Beschichtung

Flat ejector with 4 corner radii 0,2 and DLC coating

Éjecteur lame avec 4 rayons d'angle 0,2 et revêtement DLC

- Schichtdicke – 2μ
- Reibungswert – 0,1 - 0,15
- Geeignet für Trockenlauf

- layer thickness – 2μ
- coefficient of friction – 0,1 - 0,15
- suitable for dry run

- Épaisseur de couche – 2μ
- Coefficient de friction – 0,1 - 0,15
- Approprié pour marche à sec

✉ 32181DLC/2,8-0,5-80

r	K	d2	d1	b	a	L1 ±2									
						63	80	100	125	150	175	200	225	250	300
						L2 -1 / +2									
+0,2 0	0 -0,05	0 -0,2	0 -0,1	+0,002 -0,012	+0,002 -0,012	30	40	50	60	75	90	100	115	125	160
0,3	3	6	3	2,8	0,5		46,00	50,10	57,60	62,60					
0,3	3	8	4,2	3,8	0,5		44,80	49,00	55,80	59,60					
0,2	2	4	2	1,8	0,6		45,80	49,80	57,50	62,20					
0,3	3	6	3	2,8	0,6		46,00	50,10	57,60	62,60	70,50				
0,3	3	8	4,2	3,8	0,6		44,80	49,00	55,80	59,60	67,60	74,50			
0,3	3	6	3	2,8	0,7		46,00	50,10	57,60	62,60	70,50				
0,3	3	8	4,2	3,8	0,7		44,80	49,00	55,80	59,60	67,60				
0,3	3	6	3	2,8	0,8		46,00	50,10	57,60	62,60	70,50				
0,3	3	8	4,2	3,8	0,8	43,40	44,80	49,00	55,80	59,60	67,60	74,50	84,30	89,60	
0,5	5	12	6	5,5	0,8		46,80	51,00	58,50	63,30	70,50	77,70	87,60	93,60	
0,3	3	6	3	2,8	0,9		46,00	50,10	57,60	62,60	70,50	77,00	85,70	93,20	
0,3	3	8	4,2	3,8	0,9		44,80	49,00	55,80	59,60	67,60	74,50	84,30	89,60	
0,3	3	6	3	2,8	1		46,00	50,10	57,60	62,60	70,50	77,00			
0,3	3	8	4	3,5	1	42,50	44,00	48,00	54,80	58,50	66,30				
0,3	3	8	4,2	3,8	1	43,40	44,80	49,00	55,80	59,60	67,60	74,50	84,30	89,60	
0,3	3	10	5	4,5	1		46,40	50,20	57,50	62,60	69,70	76,70	86,80	92,90	
0,5	5	12	6	5,5	1		46,80	51,00	58,50	63,30	70,50	77,70	87,60	93,60	
0,3	3	8	4,2	3,8	1,2		44,80	49,00	55,80	59,60	67,60	74,50	84,30	89,60	
0,3	3	10	5	4,5	1,2		46,40	50,20	57,50	62,60	69,70	76,70	86,80	92,90	
0,5	5	12	6	5,5	1,2		46,80	51,00	58,50	63,30	70,50	77,70	87,60	93,60	101,60
0,5	5	14	8	7,5	1,2			53,70	61,90	66,60	74,10	81,40	92,60	97,40	105,20
0,3	3	10	5	4,5	1,5			50,20	57,50	62,60	69,70	76,70	86,80	92,90	
0,5	5	12	6	5,5	1,5			51,00	58,50	63,30	70,50	77,70	87,60	93,60	
0,5	5	14	8	7,5	1,5				61,90	66,60	74,10	81,40	92,60	97,40	105,20
0,5	5	16	10	9,5	1,5				64,30	69,70	77,80	84,70	96,90	101,70	
0,5	5	12	6	5,5	2			51,00	58,50	63,30	70,50	77,70	87,60	93,60	
0,5	5	14	8	7,5	2				61,90	66,60	74,10	81,50	92,60	97,40	
0,5	5	16	10	9,5	2					69,70		84,70	96,90	101,70	

Příloha č.16.-ZÁVĚSNÉ OKO-RUD VRS-F-M10



STARPOINT
VRS

Maximales Transportgewicht >G< bei verschiedenen Anschlagarten
Poids de transport maximal >G< pour différentes combinaisons de levage
Max. load weight >G< for different lift combinations



Anschlagart Type d'élingue Method of lift										
Anzahl der Stränge Nombre de brins Number of legs	1	1	2	2	2	2	2	3 und 4	3 und 4	3 und 4
Neigungswinkel <β Angle d'inclinaison <β Angle of inclination <β	0°	90°	0°	90°	0-45°	45-60°	unsymm.	0-45°	45-60°	unsymm.
Faktor Facteur Factor		1		2	1,4	1	1	2,1	1,5	1
Type metrisch	STARPOINT - für Lastgewicht in Tonnen, Festgeschraubt und in Zugrichtung eingestellt STARPOINT - charge d'utilisation en tonnes, vissé et ajusté en direction de traction STARPOINT - WLL in tonnes, bolted and adjusted to the direction of pull									
Type Zoll										
VRS-M8	1 t	0,4 t	2 t	0,8 t	0,56 t	0,4 t	0,4 t	0,84 t	0,6 t	0,4 t
VRS-M10	1 t	0,4 t	2 t	0,8 t	0,56 t	0,4 t	0,4 t	0,84 t	0,6 t	0,4 t
VRS-M12	2 t	0,75 t	4 t	1,5 t	1,0 t	0,75 t	0,75 t	1,6 t	1,12 t	0,75 t
VRS-M16	4 t	1,5 t	8 t	3 t	2,1 t	1,5 t	1,5 t	3,15 t	2,25 t	1,5 t
VRS-M20	6 t	2,3 t	12 t	4,6 t	3,22 t	2,3 t	2,3 t	4,83 t	3,45 t	2,3 t
	6 t	2,3 t	12 t	4,6 t	3,22 t	2,3 t	2,3 t	4,83 t	3,45 t	2,3 t
VRS-M24	8 t	3,2 t	16 t	6,4 t	4,48 t	3,2 t	3,2 t	6,7 t	4,8 t	3,2 t
VRS-M30	12 t	4,5 t	24 t	9 t	6,3 t	4,5 t	4,5 t	9,4 t	6,7 t	4,5 t
VRS-M36	16 t	7 t	32 t	14 t	9,8 t	7 t	7 t	14,7 t	10,5 t	7 t
VRS-M42	24 t	9 t	48 t	18 t	12,6 t	9 t	9 t	18,9 t	13,5 t	9 t
VRS-M48	32 t	12 t	64 t	24 t	16,8 t	12 t	12 t	25,2 t	18,0 t	12 t

Tabelle 1

Anschlagart Type d'élingue Method of lift										
Anzahl der Stränge Nombre de brins Number of legs	1	1	2	2	2	2	2	3 und 4	3 und 4	3 und 4
Neigungswinkel <β Angle d'inclinaison <β Angle of inclination <β	0°	90°	0°	90°	0-45°	45-60°	unsymm.	0-45°	45-60°	unsymm.
Faktor Facteur Factor		1		2	1,4	1	1	2,1	1,5	1
Type metrisch	STARPOINT - für Lastgewicht in lbs, Festgeschraubt und in Zugrichtung eingestellt STARPOINT - charge d'utilisation en lbs, vissé et ajusté en direction de traction STARPOINT - WLL in lbs, bolted and adjusted to the direction of pull									
Type Zoll										
VRS-M8/M10	2200 lbs	880 lbs	4400 lbs	1760 lbs	1235 lbs	880 lbs	880 lbs	1850 lbs	1320 lbs	880 lbs
VRS-M12	4400 lbs	1650 lbs	8800 lbs	3300 lbs	2200 lbs	1650 lbs	1650 lbs	3450 lbs	2470 lbs	1650 lbs
VRS-M16	8820 lbs	3300 lbs	17640 lbs	6610 lbs	4630 lbs	3300 lbs	3300 lbs	6940 lbs	4960 lbs	3300 lbs
VRS-M20	13250 lbs	5070 lbs	26500 lbs	10140 lbs	7100 lbs	5070 lbs	5070 lbs	10650 lbs	7600 lbs	5070 lbs
	13250 lbs	5070 lbs	26500 lbs	10140 lbs	7100 lbs	5070 lbs	5070 lbs	10650 lbs	7600 lbs	5070 lbs
VRS-M24	17630 lbs	7050 lbs	35260 lbs	14100 lbs	9880 lbs	7050 lbs	7050 lbs	14800 lbs	10580 lbs	7050 lbs
VRS-M30	26450 lbs	9920 lbs	52900 lbs	19840 lbs	13880 lbs	9920 lbs	9920 lbs	20800 lbs	14880 lbs	9920 lbs
VRS-M36	35270 lbs	15430 lbs	70540 lbs	26560 lbs	18600 lbs	15430 lbs	15430 lbs	32400 lbs	23150 lbs	15430 lbs
VRS-M42	52900 lbs	19480 lbs	105800 lbs	39680 lbs	27700 lbs	19840 lbs	19840 lbs	41600 lbs	29760 lbs	19840 lbs
VRS-M48	70550 lbs	26450 lbs	141100 lbs	52910 lbs	37000 lbs	26450 lbs	26450 lbs	55500 lbs	39680 lbs	26450 lbs

Tabelle 2